

Pientalon energiasaneeraus

Rakennusosien rakennusfysiikka ja kokonaisenergiankulutus

Lasse Hietanen

Opinnäytetyö
toukokuu 2013

Rakennustekniikan koulutusohjelma
Tekniikan ja liikenteen ala



JYVÄSKYLÄN AMMATTIKORKEAKOULU
JAMK UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Tekijä(t) Hietanen, Lasse	Julkaisun laji Opinnäytetyö	Päivämäärä 29.04.2013
	Sivumäärä 72	Julkaisun kieli SUOMI
		Verkojulkaisulupa myönnetty (X)
Työn nimi Pientalon energiasaneeraus		
Koulutusohjelma Rakennustekniikan koulutusohjelma		
Työn ohjaaja(t) Korpinen, Jussi		
Toimeksiantaja(t) Päivikkö Pekka		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyön tilasi yksityishenkilö Pekka Päivikkö. Työssä tavoitteena oli tutkia 1980-luvullaraken- netun pientalon rakenneratkaisuiden rakennusfysikaalista toimintaa ja energiankulutusta. Raken- nukseen luotiin toimivat saneerauksen korjausrakenteet energiatehokkuuden parantamiseksi ja tutkittiin niiden rakennusfysikaalista toimintaa suhteessa alkuperäisiin rakenteisiin sekä nykytasoi- siin rakenneratkaisuihin.</p> <p>Toiminnallisen arvioinnin perusteena toimivat laskennalliset perusteet ja työmaakäyntien yhtey- dessä tehdyt visuaaliset kenttätutkimukset. Työssä käsiteltiin rakennusaikaisia vaatimuksia ja yleisiä rakennusvirheitä, joita on tehty 1980-luvulla. Tarkoituksena oli tutkia niiden yhtenevyyksiä toteutet- tuihin alkuperäisrakenteisiin.</p> <p>Opinnäytetyön tuloksena saatiin varmistettua korjattujen rakenteiden toimivuus rakennusfysikaali- sesti nykyilmastossa. Työn suoritus vahvisti näkemyksiä, joiden mukaan nykyrakenteiden toimivuus on huolellisesti toteutettujen rakenteiden varassa. Lisäksi todettiin energiakulutuksen säästöt ra- kennusosiin kohdistetuilla muutoksilla sekä ilmanvaihtojärjestelmän modernisoinnilla.</p> <p>Tulokset osoittivat energiatehokkuuden parantamisen kannattamattomaksi itsessään energiatehok- kuuden parantamisesta ehdoilla. Rakennushankkeeseen tulisi olla muitakin pakottavia tekijöitä, jotta takaisinmaksuaika ei kasva kannattamattoman suuruiseksi. Työn tuloksia voi käyttää suuntaa antavina vastaavia kohteita suunniteltaessa. Rakennetyyppien toimivuus kaikissa kohteissa ei ole itsestäänselvyys, vaan kaikki kohteet tulee tarkastaa erillisinä kohteina.</p>		
Avainsanat (asiasanat)		
Rakennusfysiikka, diffuusiotarkastelu, energiatehokkuus, energiankulutus, kosteus, lämmönlä-		
Muut tiedot		

Author(s) Hietanen, Lasse	Type of publication Bachelor's Thesis	Date 29042013
	Pages 72	Language Finnish
		Permission for web publication (X)
Title Energy rehabilitation to detached house		
Degree Programme Civil Engineering		
Tutor(s) Korpinen, Jussi		
Assigned by Päivikkö, Pekka		
<p>Abstract</p> <p>The thesis was assigned by a private person, Pekka Päivikkö. The goal was to study construction solutions of a detached house built in the 1980s with a special focus on energy consumption and construction physics. The purpose was to create structure repairs to improve energy efficiency without risking building physics. New structures were compared to original structures and the structure solutions used nowadays.</p> <p>The model of the structural estimation was based on the calculated criteria and visual field studies. The thesis deals with the construction phase and the general mistakes with the requirements of the building made in the 1980s. The aim was to explore their similarities and compare them to the original design implemented.</p> <p>The result of this study confirmed that the structures will function in the current climate. The results also confirmed the view that current structures must be carried out carefully. In addition, the study explored energy consumption savings, when the renovation was targeted at structural changes and modernization of the ventilation system.</p> <p>The results showed improvements in energy efficiency unprofitable as such and improvement in terms of energy efficiency. The construction project should have other compelling factors so that the return on investment time does not increase to be unprofitably large. The results can be used only as a guide to similar projects. Structure types do not self-evidently work in all instances; hence the items must be checked separately.</p>		
<p>Keywords</p> <p>Structural physics, diffusion consideration, energy efficiency, humidity, thermal transmittance</p>		
Miscellaneous		

Sisältö

Käsitteitä	7
1 Työn taustat ja tavoitteet	10
2 Rakennusfysikaaliset tarkastelut	12
2.1 Alapohjan U-arvon määrittäminen.....	12
2.2 Ulkoseinän ja yläpohjan U-arvon määrittäminen	15
2.3 Rakenneosan diffuusiotarkastelu stationääritilassa.....	17
3 Alapohjarakenteet.....	20
3.1 Vanhan alapohjarakenne	20
3.2 Tyypialapohja 1980-luvun omakotitalossa	21
3.3 Alapohjarakenteen suunnittelun periaatteet	22
3.4 Korjauksen tavoitteet	22
3.5 Korjattu alapohjarakenne	24
3.6 Alapohjan rakennusfysikaalinen toiminta	24
3.6.1 Rakenteen toiminnan arviointi.....	24
3.6.2 Kosteustekninen toimivuus.....	26
3.6.4 Vanhan alapohjarakenteen kosteuskäyttäytyminen.....	29
3.6.5 Korjatun alapohjarakenteen kosteustekninen toiminta	30
4 Ulkoseinärakenteet	31
4.1 Vanha ulkoseinärakenne.....	31
4.2 Ulkoseinärakenteen toiminnan periaatteet.....	32
4.3 Muutostyön tavoitteet	33
4.4 Uudistettu ulkoseinärakenne	34
4.5 Ulkoseinän rakennusfysikaalinen toiminta.....	35
4.5.1 Vanhan ulkoseinärakenteen kosteustekninen toiminta	38
4.5.2 Korjatun ulkoseinärakenteen kosteustekninen toiminta	38
5 Yläpohjarakenteet	39
5.1 Vanhan yläpohjan rakenneratkaisu.....	39
5.2 Yläpohjarakenteen korjauksen tavoitteet	42
5.3 Uudistettu yläpohjarakenne	42
5.4 Yläpohjarakenteen kosteustekninen toimivuus.....	43

5.5 Tulosten arviointi.....	46
6 Korjausrakennuskohteen energiatehokkuus	46
6.1 Ympäristöministeriön asetus Korjaus- ja muutostöiden energiatehokkuudesta.....	46
6.2 Energiatehokkuuden toteaminen	47
6.3 Energiahäviö rakenneosissa	48
6.3 Energiasaneerauksen käyttökustannusvaikutukset	49
6.3.1 Alapohjan lämpöhäviö	49
6.3.2 Ulkoseinien lämpöhäviö.....	49
6.3.3 Yläpohjan lämpöhäviö.....	50
6.3.4 Ikkunoiden lämpöhäviö.....	50
6.3.5 Ovien lämpöhäviö.....	51
6.4 Rakennusosien muutostöiden kannattavuuden arviointi.....	51
6.5 Rakennuksen kokonaisenergiankulutus	52
6.6 Energiasaneerauksen kannattavuus.....	53
7 Pohdinta	54
7.1 Tuotannon laadun merkitys	54
7.2 Energiatehokkuuden parantaminen.....	55
7.3 Korjaustavan valinta ja laajuus.....	55
7.4 Yhteistyö suunnittelussa ja tuotannossa	56
Lähteet	57
Liitteet	59
Liite 1. Vanhan alapohjarakenteen U-arvon laskenta	59
Liite 2. Korjatun alapohjarakenteen U-arvon laskenta.....	59
Liite 3. Vertailualapohjarakenteen U-arvon laskenta.....	60
Liite 4. Vanhan ulkoseinärakenteen U-arvon laskenta.....	60
Liite 5. Korjatun ulkoseinärakenteen U-arvon laskenta	61
Liite 6. Vertailu-ulkoseinärakenteen U-arvon laskenta	61
Liite 7. Vanhan yläpohjarakenteen U-arvon laskenta	62
Liite 8. Korjatun ja vertailu-yläpohjarakenteen U-arvon laskenta	62
Liite 9. Alapohjarakenteiden kosteustasapainon laskenta talviolosuhteessa	63
Liite 10. Alapohjarakenteiden kosteustasapainon laskenta kesäolosuhteessa	64
Liite 11. Ulkoseinärakenteiden kosteustasapainon laskenta talviolosuhteessa	65
Liite 12. Ulkoseinärakenteiden kosteustasapainon laskenta kesäolosuhteessa	66
Liite 13. Yläpohjarakenteiden kosteustasapainon laskenta talviolosuhteessa.....	67
Liite 14. Yläpohjarakenteiden kosteustasapainon laskenta kesäolosuhteessa	68

Liite 15. Vanhojen rakenneosien lämpöhäviön laskenta.....	69
Liite 16. Korjattujen rakenneosien lämpöhäviöiden laskenta	71
Liite 17. Vanhan ilmanvaihtojärjestelmän lämpöhäviöiden laskenta	72
Liite 18. Uudistetun ilmanvaihtojärjestelmän lämpöhäviöiden laskenta.....	72
Liite 19. E-Luku vanhoilla rakenteilla.....	73
Liite 20. E-Luku uudistetuilla rakenteilla	74

Kuviot

Kuvio 1. Rakennuksen vanhan osan pohjapiirustus.....	10
Kuvio 2. Rakennuksen muutostyön pohjapiirustus	11
Kuvio 3. Maanvastaisen alapohjarakenteen muuttujat.....	13
Kuvio 4. Arvojen A ja P määrityminen.....	14
Kuvio 5. Lämpövirran suuntaan nähden peräkkäisten ainekerrosten muodostama rakenneosa	15
Kuvio 6. Esimerkki R'_T määrittämiseen kuvion 5 mukaiselle rakenneosalle	16
Kuvio 7. Esimerkki R''_t määrittämiseen kuvion 5 mukaiselle rakenneosalle	16
Kuvio 8. Vanhan alapohjan rakennetyyppi.....	21
Kuvio 9. Mikrobikasvustolle otolliset olosuhteet	23
Kuvio 10. Korjatun alapohjan rakennetyyppi	24
Kuvio 11. Vanha alapohjarakenne talviolosuhteessa	27
Kuvio 12. Vanha alapohjarakenne kesäolosuhteessa	27
Kuvio 13. Korjattu alapohjarakenne talviolosuhteessa	28
Kuvio 14. Korjattu alapohjarakenne kesäolosuhteessa	28
Kuvio 15. Vertaileva alapohjarakenne talviolosuhteessa	29
Kuvio 16. Vertaileva alapohjarakenne kesäolosuhteessa.....	29
Kuvio 17. Vanhan ulkoseinän rakennetyyppi	32
Kuvio 18. Korjatun ulkoseinän rakennetyyppi.....	34
Kuvio 19. Vanha ulkoseinärakenne talviolosuhteessa.....	35
Kuvio 20. Vanha ulkoseinärakenne kesäolosuhteessa	36
Kuvio 21. Korjattu ulkoseinärakenne talviolosuhteessa.....	36

Kuvio 22. Korjattu ulkoseinärakenne kesäolosuhteessa.....	37
Kuvio 23. Vertaileva ulkoseinärakenne talviolosuhteessa.....	37
Kuvio 24. Vertaileva ulkoseinärakenne kesäolosuhteessa	38
Kuvio 25. Yläpohjarakenne makuuhuoneen kohdalla	40
Kuvio 26. Vanhan yläpohjan rakennetyyppi.....	41
Kuvio 27. Korjatun yläpohjan rakennetyyppi	43
Kuvio 28. Vanha yläpohjarakenne talviolosuhteessa	44
Kuvio 29. Vanha yläpohjarakenne kesäolosuhteessa	44
Kuvio 30. Korjattu ja vertaileva yläpohjarakenne talviolosuhteessa.....	45
Kuvio 31. Korjattu ja vertaileva yläpohjarakenne kesäolosuhteessa	45

Käsitteitä

Diffuusio	Diffuusio on kaasumolekyylien liikettä, joka pyrkii tasoittamaan kaasuseoksessa olevia yksittäisen kaasun pitoisuuseroja (tai osapaine-eroja). Diffuusiossa kaasu siirtyy korkeammasta pitoisuudesta alempaan pitoisuuteen.
Höyrynsulku	Höyrynsulku on ainekerros, jonka pääasiallisena tehtävänä on estää vesihöyryn haitallinen diffuusio rakenteeseen tai rakenteessa. Höyrynsulun vesihöyrynläpäisevyys on pieni.
Ilmansulku	Ilmansulku on ainekerros, jonka pääasiallisena tehtävänä on estää haitallinen ilmavirtaus rakenteen läpi. Ilmansulun ilmanläpäisevyys on pieni.
Kondensoituminen	Kondensoituminen tarkoittaa vesihöyryn tiivistymistä rakenteiden pintoihin vedeksi tai jääksi, kun ilman vesihöyrypitoisuus on saavuttanut pinnan lähellä kyllästyskosteuden ($RH = 100\%$).
Konvektio	Konvektio syntyy, kun kaasu tai neste virtaa ulkopuolisen voiman (pakotettu konvektio) tai lämpötilaerojen aiheuttamien tiheyserojen (luonnollinen konvektio) vaikutuksesta. Vesihöyry siirtyy konvektiolla virtaavan ilman mukana.
Kyllästyskosteus	Kyllästyskosteus ilmoittaa vesihöyrypitoisuuden, joka ilmaan mahtuu tietyssä lämpötilassa.
Lämmönjohtavuus	Lämmönjohtavuus (λ) ilmoittaa lämpömäärän, joka stationääritilassa läpäisee aikayksikössä pintayksikön

suuruisen ja pituusyksikön paksuisen homogeenisen ainekerroksen, kun ainekerroksen eri puolilla olevien ilmatilojen lämpötilaero on yksikön suuruinen.

Lämmönläpäisykerroin	Lämmönläpäisykerroin (U) ilmoittaa lämpömäärän, joka stationääritilassa läpäisee aikayksikössä pintayksikön suuruisen rakenneosan, kun rakenneosan eri puolilla olevien ilmatilojen lämpötilaero on yksikön suuruinen.
Suhteellinen kosteus	Ilman suhteellinen kosteus (RH) ilmoittaa, kuinka paljon ilmassa on vesihöyryä kyllästyskosteuspitoisuuteen verrattuna tietyssä lämpötilassa.
Stationääritila	Stationääritilassa (= jatkuvuustila) olevaan systeemiin tuodaan ja sieltä poistuu vakiomäärä ainetta ja lämpöenergiaa samassa ajassa. Stationääritilassa lämpötilat ja eri aineiden pitoisuudet ovat saavuttaneet tasapainotilan eivätkä muutu ajan kuluessa.
Tiivis rakenne	Tiiviissä rakenteessa on tiivis ilmansulkuna toimiva kerros.
Tuulensuoja	Tuulensuoja on ainekerros, jonka pääasiallisena tehtävänä on estää tuulen aiheuttama haitallinen ilmavirtaus rakenteen lämmöneristekerroksessa. Tuulensuojamateriaalin tulee olla hyvin vesihöyryä läpäisevä.
Vesihöyrynläpäisevyys	Vesihöyrynläpäisevyys (σ_v tai σ_p) ilmoittaa vesimäärän, joka stationääritilassa läpäisee aikayksikössä pintayksikön suuruisen ja pituusyksikön paksuisen homogeenisen

ainekerroksen, kun ainekerroksen eri puolilla olevien ilmatilojen vesihöyrypitoisuuksien ero (tai vesihöyryn osapaine-ero) on yksikön suuruinen. Kosteus voi siirtyä materiaalissa muissakin olomuodoissa kuin vesihöyrynä, jolloin voidaan puhua myös materiaalin kosteudenläpäisevyydestä.

Vesihöyrynläpäisykerroin

Vesihöyrynläpäisykerroin (W tai W_p) ilmoittaa vesimäärän, joka stationääritilassa läpäisee aikayksikössä pintayksikön suuruisen rakenneosan, kun rakenneosan eri puolilla olevien ilmatilojen vesihöyrypitoisuuksien ero (tai vesihöyryn osapaine-ero) on yksikön suuruinen.

Vesihöyrynvastus

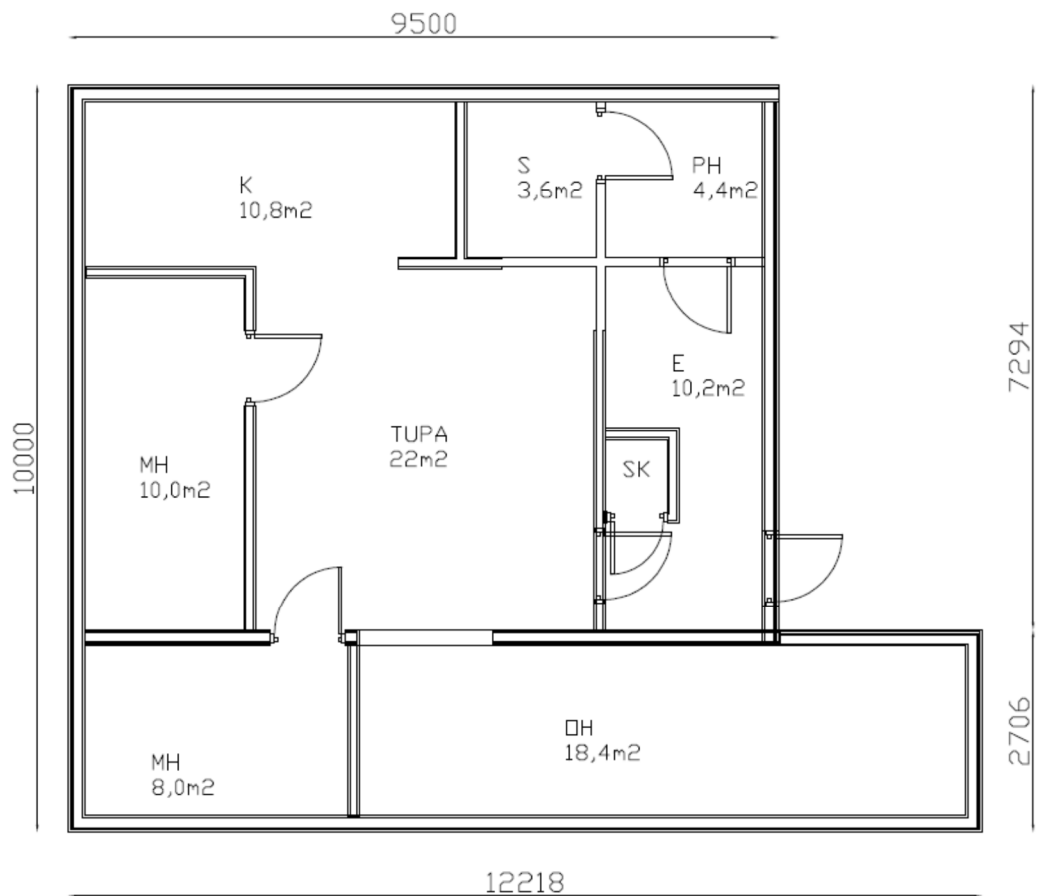
Vesihöyrynvastuksella (Z tai Z_p) tarkoitetaan vesihöyrynläpäisykertoimen käänteisarvoa. Tarkkaan ottaen vain vesihöyrynläpäisykertoimessa on mukana rajapintojen aineensiirtokertoimien vaikutus, mutta niiden osuus on käytännössä merkityksetön. Yksittäisen ainekerroksen vesihöyrynvastus lasketaan kaavalla $Z=d/\sigma$.

Vesihöyrypitoisuus

Vesihöyrypitoisuus (v) ilmoittaa ilmassa olevan vesihöyrymäärän. Vesihöyrypitoisuuksien ero pyrkii tasoittumaan diffuusion avulla.

1 Työn taustat ja tavoitteet

Tutkimuksen kohteena oli 1982 valmistunut puurunkoinen omakotitalo, joka energiasaneerataan ympäristöministeriön asetuksen 4/13 mukaisesti. Asetus koskee rakennuksen energiatehokkuuden parantamista korjaus- ja muutostöissä. Asetus tulee voimaan 1.9.2013, joten se ei koske tutkittavaa rakennusta sitovasti. Rakennus oli saneeraustyön aloitushetkellä kuvion 1 mukainen.



Kuvio 1. Rakennuksen vanhan osan pohjapiirustus

Rakennushankkeessa ollaan yksimielisiä siitä, että rakennus rakennetaan voimaantulevan korjausrakentamisen energiatehokkuutta koskevan asetuksen mukaisesti. Korjaustoimenpiteiden laajamittaisuus on perusteltavissa rinnalle rakennettavalla laajennusosalla, joka toteutetaan voimassaolevien uudisrakentamismääräysten mukaisesti. Rakennus saadaan toimimaan muutos toimenpiteillä yhtenäisenä kokonaisuutena ja voidaan varmistua nykyaikaisten

Rakennuksen energiakorjauksen kannattavuutta analysoidaan rakenneosien teoreettisen energiahäviön perusteella. Tässä opinnäytetyössä määritettiin rakenneosien teoreettinen kokonaisenergiankulutus sekä vanhoilla että uudistetuilla rakenteilla. Energialaskelmilla saatiin vertailtua vanhojen ja uudistettujen rakenteiden energiankulutusta, jonka avulla voitiin laskea rakenneosiin kohdistuneiden muutosten tuomat käytönaikaiset kustannussäästöt.

Rakennuksen ilmanvaihtolaitteet, lämmitysmuoto, ilmanpitävyys, kuluttajalaitteet ja muut nettoenergian tarpeeseen vaikuttavat tekijät otetaan huomioon E-lukua laskettaessa. E-luvun laskennasta voisi tehdä kokonaisen opinnäytetyön, jonka takia E-luvun laskentaprotokollaa ei tarkemmin määritelty vaan tarkemmat tarkastelut kohdistettiin rakenneosien energiahäviöille. Saneeraustyön kokonaisenergian säästö ja käytönaikaiset kustannussäästöt arvioitiin rakennuksen E-luvun kautta.

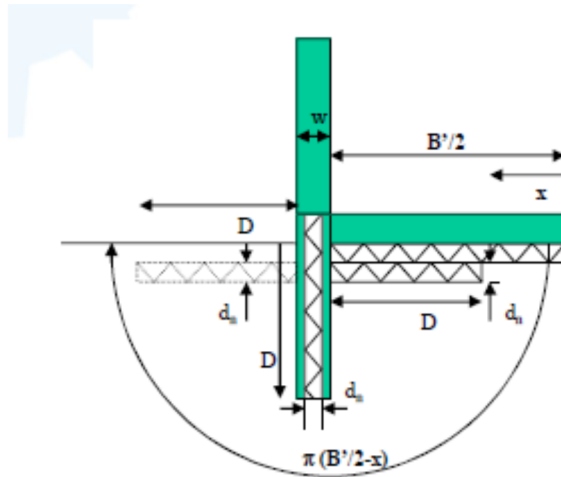
Korjaustyö on osa suurempaa rakennuskokonaisuutta. Vanhan rakennuksen rinnalle tehdään muutostöiden yhteydessä laajennusosa, joka toteutetaan uudisrakentamistasoisilla rakenneratkaisuilla. Olemassa olevien rakenteiden muutoksilla varmistetaan sisäilman laatu ja rakennuksen kokonaistoimivuus nykyaikaisilla teknisillä ratkaisulla. Tämä opinnäytetyö keskittyi tutkimaan olemassa olevan rakennuksen toiminnan muutoksia, mutta laajennusosa edustaa vertailurakennuksen mukaisilla rakenneosilla toteutettua rakennusta. Poikkeavina tekijöinä määräysten minimivaatimuksiin ovat ikkunoiden ja ovien U-arvot, jotka on tarkoitus toteuttaa energiatehokkaammilla ratkaisulla määräyksien vertailuarvoihin verrattuna.

2 Rakennusfysikaaliset tarkastelut

2.1 Alapohjan U-arvon määrittäminen

Tässä opinnäytetyössä maavaraisen alapohjarakenteen U-arvo määritetään yksinkertaistetulla, mutta riittävän tarkalla SFS-EN ISO 13370:een pohjautuvalla menetelmällä (Leivo 2011a, 3). Alapohjarakenteiden U-arvojen laskenta on esitetty liitteissä 1-3.

Maanvastaisen alapohjarakenteen lämmönläpäisykerroin U_f laskentaan kaavalla 1 tai 2 riippuen suhteellisen leveyden B' ja ekvivalentin paksuuden dt arvoista (Leivo 2011a, 6). (ks. kuvio 3).



Kuvio 3. Maanvastaisen alapohjarakenteen muuttujat (Leivo 2011a, 4)

$$U_f = \frac{\lambda_s}{0,475 \cdot B' + dt} \quad \text{kun } dt \geq B' \quad (1)$$

$$U_f = \frac{2 \cdot \lambda_s}{\pi \cdot B' + dt} * \ln\left(\frac{\pi B'}{dt} + 1\right) \quad \text{kun } dt < B' \quad (2)$$

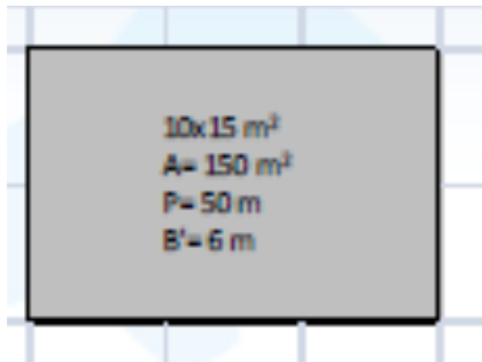
Suhteellisen leveys B' määritetään yhtälöllä 3 (Leivo 2011a, 6). (ks. kuvio 4)

$$B' = \frac{A}{0,5P} \quad (3)$$

jossa

A alapohjan pinta-ala (m²)

P pohjalaatan piiri, sokkelin pituus (m)



Kuvio 4. Arvojen A ja P määräytyminen (Leivo V 2011a, 19.)

Maanvaraisen alapohjalaatan ekvivalentti paksuus d_t määritetään yhtälöllä 4 (Leivo 2011a, 6).

$$d_t = w + \lambda_s (R_{si} + R_f + R_{se}) \quad (4)$$

jossa

w ulkoseinän paksuus laatan kohdalla

λ_s on maamateriaalin lämmönjohtavuus (RakMK C4 luonnos 2012, 26.)

- savi, salaojitettu hiekka ja sora 1,5 W/(m K)
- hiesu, salaojittamaton hiekka ja sora, moreeni 2,0 W/(m K)
- kallio 3,5 W/(m K).
- Jos maalajia ei tiedetä, maan lämmönjohtavuutena (λ_s) voidaan käyttää arvoa 2,0 W/(m K).

R_{si} sisäpuolen pintavastus (RakMK C4 luonnos 2012, 22.)

R_f on alapohjarakenteen lämmönvastus ilman maata ja pintavastuksia määritetään yhtälöllä 5 (RakMK C4 luonnos 2012, 7.)

$$R_f = \frac{d_1}{\lambda_{u1}} + \frac{d_2}{\lambda_{u2}} + \dots + \frac{d_n}{\lambda_{un}} \quad (5)$$

jossa

d_n ainekerroksen paksuus mm

λ_u ainekerroksen lämmönjohtavuuden mitoitusarvo

R_{se} ulkopuolen pintavastus (RakMK C4 luonnos 2012, 22.)

2.2 Ulkoseinän ja yläpohjan U-arvon määrittäminen

Ulkoseinä- ja yläpohjarakenteen korjaamaton lämmönläpäisykerroin lasketaan yhtälöllä 6 (RakMK C4 luonnos 2012, 7). (ks.kuvio 5,6 ja 7)

$$U = \frac{1}{R_T} \quad (6)$$

jossa

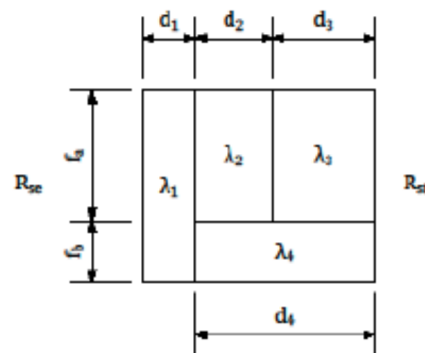
R_T rinnakkaisia ainekerroksia sisältävän rakenneosan lämmönvastuksen ala- ja ylälikiarvojen keskiarvo, joka lasketaan yhtälöllä 7

$$R_T = \frac{R'_T + R''_T}{2} \quad (7)$$

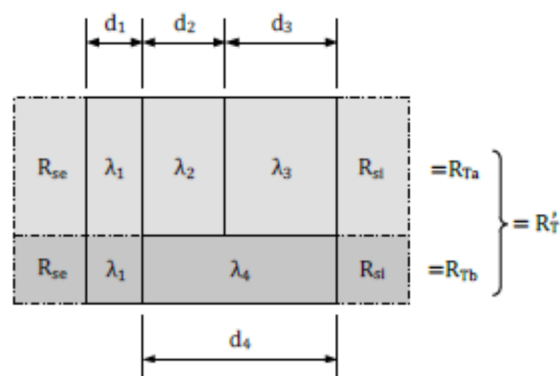
jossa

R'_T on kokonaislämmönvastuksen ylälikiarvo, joka lasketaan yhtälöllä 8.

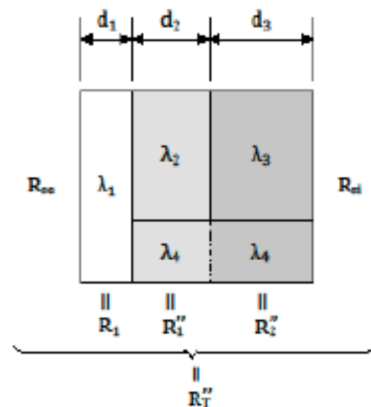
R''_T on kokonaislämmönvastuksen alaliikiarvo, joka lasketaan yhtälöllä 9.



Kuvio 5. Lämpövirran suuntaan nähden peräkkäisten ainekerrosten muodostama rakenneosaesimerkki (RakMK C4 luonnos 2012, 9)



Kuvio 6. Esimerkki R'_T määrittämiseen kuvion 5 mukaiselle rakenneosalle (RakMK C4 luonnos 2012, 9)



Kuvio 7. Esimerkki R''_T määrittämiseen kuvion 5 mukaiselle rakenneosalle (RakMK C4 luonnos 2012, 9)

Rakenneosan lämmönvastuksen ylälikiarvon laskentayhtälöllä 8 (RakMK C4 luonnos 2012, 8).

$$\frac{1}{R'_T} = \frac{f_a}{R_{Ta}} + \frac{f_b}{R_{Tb}} + \dots + \frac{f_n}{R_{Tn}} \quad (8)$$

Rakenneosan lämmönvastuksen alaliikiarvo laskentayhtälöllä 9 (RakMK C4 luonnos 2012, 8).

$$R''_T = R_{si} + (R''_1 + R''_2 + \dots + R''_j) + (R_1 + R_2 + \dots + R_k) + R_{se} \quad (9)$$

jossa

R_1, \dots, R_k rakenneosan tasa-aineisista ja tasapaksuisista ainekerroksista muodostuvien kerrosten 1, 2, ..., k lämmönvastukset

R_{si} sisäpinnan pintavastus

R_{se} ulkopinnan pintavastus

R''_1, \dots, R''_j rakennusosan kerroksissa a, b, ..., j olevien rinnakkaisten lohkojen yhdistetyt lämmönvastukset, jotka lasketaan yhtälöllä 10 (RakMK C4 luonnos 2012, 9.)

$$\frac{1}{R''_j} = \frac{f_a}{R_{ja}} + \frac{f_b}{R_{jb}} + \dots + \frac{f_n}{R_{jn}} \quad (10)$$

jossa

f_a, \dots, f_n	lohkojen pinta-ala lämpövirran suuntaan nähden kohtisuorasta pinta-alasta
R_{ja}, \dots, R_{jn}	rakennusosan kerroksessa j yhdistettävien lohkojen a, b, ..., n lämmönvastukset

Yksittäisen ainekerroksen lämmönvastus lasketaan yhtälöllä 11 (RakMK C4 luonnos 2012, 7).

$$R = \frac{d}{\lambda_u} \quad (11)$$

jossa

d	ainekerroksen paksuus mm
λ_u	ainekerroksen lämmönjohtavuuden mitoitusarvo

Kohteen ulkoseinä- ja yläpohjarakenteiden U-arvojen laskennat on esitetty liitteissä 4-8.

2.3 Rakenneosan diffuusiotarkastelu stationääritilassa

Alapohjarakenteen kosteusmitoittamisen perusolettamuksia ovat seuraavat:

- Maanvaraiseen rakenteeseen kosketuksissa olevan maa-aineksen huokosilman suhteellinen kosteus on 100 prosenttia.
- Maaperästä nousevan diffuusiovirran aiheuttama kondensoitumisriski tulee ottaa huomioon maanvaraista rakennetta suunniteltaessa.
- Maanvaraisen rakenteen tulee pystyä poistamaan maaperästä nouseva kosteus.

(Leivo & Rantala 2002, 5.)

Ensimmäisessä vaiheessa muodostetaan rakenteen rajapintojen lämpötilat eli lämpötilakäyrä. Ainekerrosten lämmönvastukset määritetään yhtälön 12 mukaisesti (RakMK C4 luonnos 2012, 7).

$$R = d / \lambda_u \quad (12)$$

jossa

R	ainekerroksen lämmönvastus
d	ainekerroksen paksuus
λ_u	ainekerroksen lämmönjohtavuuden mitoitusarvo

Lämpötilat jakautuvat rakenteeseen rakenneosien lämmönvastuksien suhteessa kokonaislämmönvastukseen. Rakenteen lämpötilakäyrä saadaan luotua, kun määritetään lämpötilojen muutokset yhtälöllä 13 (Leivo & Rantala 2000, 61).

$$\Delta t_x = R_x / \Sigma R_x * (t_s - t_u) \quad (13)$$

jossa

Δt_x	lämpötilan muutos ainekerroksessa
R_x	ainekerroksen lämmönvastus
ΣR_x	rakenneosan kokonaislämmönvastus
t_s	sisäilman lämpötila
t_u	rakenneosan ulkopuolella vallitseva lämpötila

Rajapintojen lämpötilatietojen avulla määritetään vesihöyryn kyllästyspitoisuudet rakenteiden eri pinnoissa. Todellisuudessa yhteys pintojen lämpötiloihin ei ole aivan lineaarinen, mutta oletamme sen lineaariseksi. Näin kyllästyspitoisuuskäyrä noudattaa lämpötilakäyrän muotoa. Kyllästyspitoisuus v_k voidaan laskea yhtälöllä 14: (Leivo & Rantala 2000, 61.)

$$v_k = 10^{-3} (4,85 + 3,47 \left(\frac{t}{10}\right) + 0,945 \left(\frac{t}{10}\right)^2 + 0,158 \left(\frac{t}{10}\right)^3 + 0,0281 \left(\frac{t}{10}\right)^4) \quad (14)$$

jossa

v_k	kyllästyskosteus pitoisuus (g/m ³)
t	lämpötila (°C)

Kyllästyskosteus voidaan esittää myös kyllästyspaineena p_k , joka voidaan laskea yhtälöllä 15 (Leivo & Rantala 2000, 61).

$$p_k = v_k * 461,4(273+t) \quad (15)$$

jossa

p_k	kyllästyspaine (pa)
v_k	kyllästyskosteuspitoisuus (g/m ³)

Tässä opinnäytetyössä laskentamenetelmä perustuu vesihöyryn osapainejakaumaan ja vesihöyryn osapaine rakenteen eri kohdissa muodostaa vesihöyrypaineikäyrän. Vesihöyryn osapaine riippuu materiaalien vesihöyrynläpäisevyyksistä sekä sisäilman ja ulkoilman suhteellisista kosteuksista. Vesihöyrynläpäisevyys σ_p on materiaaliominaisuus, jonka avulla määritetään vesihöyrynvastus Z_p , joka lasketaan yhtälöllä 16 (Leivo & Rantala 2000, 61).

$$Z_p = d / \sigma_p \quad (16)$$

jossa

Z_p	ainekerroksen vesihöyrynvastus
d	ainekerroksen paksuus (m)
σ_p	ainekerroksen vesihöyrynläpäisevyys (10 ⁻¹² kg/(m s Pa))

Lopuksi lasketaan vesihöyryn osapaineen muutos yhdessä ainekerroksessa, jonka vesihöyrynvastus on Z_p . Vesihöyryn osapaineet tasoittuvat vesihöyryvastusten suhteessa kokonaisvesihöyrynvastukseen. Vesihöyryn osapaineen muutos yhdessä ainekerroksessa saadaan laskettu yhtälöllä 17 (Leivo & Rantala 2000, 62).

$$\Delta p = Z_p / \Sigma Z_p (p_s - p_u) \quad (17)$$

jossa

Z_p	ainekerroksen vesihöyrynvastus
ΣZ_p	rakenneosan kokonaisvesihöyrynvastus
p_s	vesihöyryn osapaine rakenneosan sisäpuolella
p_u	vesihöyryn osapaine rakenneosan ulkopuolella

Laskemalla vesihöyryn osapaineiden muutokset, saadaan määritettyä vesihöyryn osapaineikäyrä. Osapaineikäyrää verrataan kyllästyspaineikäyrään ja saadaan arvioitua rakenteen diffuusiokäyttäytymisen toimivuutta. Rakenteiden kosteuspitoisuuden kriittisen pitoisuuden tarkastelussa käytetään yhtälöä 18 (Leivo & Rantala 2002, 13).

$$p_x < R_{h,crit,x} / 100 * p_{k,x} \quad (18)$$

jossa

p_x	rajapinnassa x vallitseva vesihöyryn osapaine
$R_{h,crit,x}$	rajapinnan x kriittinen kosteusprosentti
$p_{k,x}$	rajapinnan x vesihöyryn kyllästysosapaine

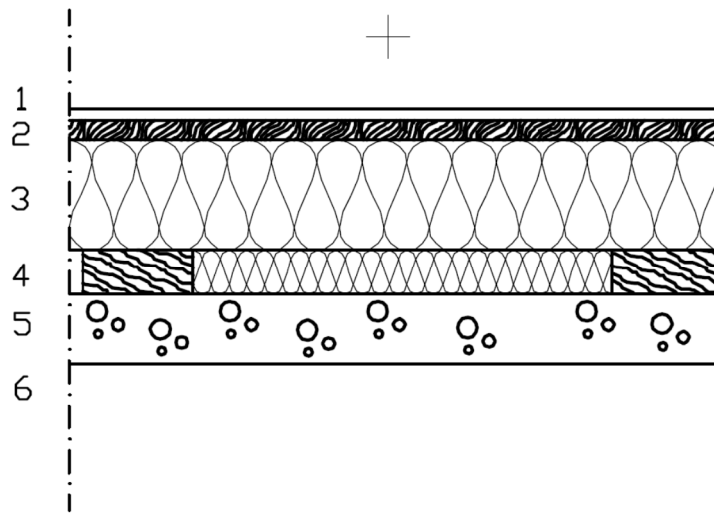
3 Alapohjarakenteet

3.1 Vanhan alapohjarakenne

Tarkastelun kohteena olevassa rakennuksessa on maanvarainen alapohja. Pohjalaatan yläpuolella on puukoolauksen varaan rakennettu parkettilattia, jossa mineraalivillaeristys. Pohjalaatan alla ei alapohjatutkimuksissa havaittu minkään tasoista eristekerrosta. Alapohjan reuna-alueelle tehdyssä tutkimuksessa havaittiin lisäksi, että betonilaatan alla on silmämääräisesti tutkittuna karkea luonnonsoratäyttö.

Uudisosan kaivantotöiden yhteydessä vanhan rakennuksen ympärillä oleva salaojajärjestelmä on tarkastettu. Tarkastuksissa on todettu, että rakennuksen salaojajärjestelmä on toimiva. Uudisosan rakentamisen yhteydessä rakennusten ympärykset muokataan nykytasoisiksi. Pintojen muotoilu tehdään kaatamaan 150mm rakennuksesta poispäin 3 metrin levyisellä kaistalla (RakMk C2 1998, 5).

1990-luvun puolella välissä rakennuksessa on tapahtunut putkivuoto, jonka yhteydessä rakennuksen alapohjasta on poistettu muovikalvo puukoolauksen ja pohjalaatan välistä. Rakenne on ennen muutostöiden aloittamista kuvion 8 mukainen. Pohjalaatta sijaitsee ympäröivää maaperää korkeammalla, joten pintavesistä ei aiheudu välitöntä kosteusrasitusta rakenteelle.



1	PARKETTI 13mm		
2	LASTULEVY 22mm		
3	KÖÖLAUS+VILLA 125mm	-	LEIMAAMATON KUUSI + MINERAALIVILLA
4	KÖÖLAUS+VILLA 50mm	-	- [[-
5	RAAKAVALU 80mm	-	BETONI C20?
6	PERUSMAA	-	LUONNONSORAA

Kuvio 8. Vanhan alapohjan rakennetyyppi

3.2 Tyypialapohja 1980-luvun omakotitalossa

Rakennuksen rakentamisajankohtana oli tyypillistä tehdä maanvaraisen pohjalaatan päälle puukoolattu lankkulattia ilman alapuolista eristystä. Kyseinen rakenne sisältää kosteusteknisen riskin, kun kosteudella on mahdollisuus nousta kapillaarisesti sekä diffuusiona pohjalaatan päällä oleviin rakenteisiin. Kosteuden kapillaarinen nousu riippuu pohjalaatan alapuolisesta täyttökerroksesta. Mikäli täyttönä on käytetty asianmukaisia kapillaarisen nousun katkaisevia täyttöjä ja salaojitus on rakennuksen ympärillä kunnossa, ei kapillaariselle vedennousulle ole edellytyksiä. Mahdollinen muovikalvo aiheuttaa kuivumisen estymisestä johtuen lisäriskiä rakenteiden kostumiseen, lahoamiseen sekä homehtumiseen. (Laurinen 2011, 30-31).

Kohteen alapohjarakenne on toteutettu 1982 voimassa olleiden rakentamismääräysten mukaisella tavalla. Rakenteiden toteuttamistapa on ollut sen hetkisen parhaan tietämyksen mukaan toimivaa, mutta rakentamismääräykset ovat

olleet myös hyvin tulkinnanvaraisia. Rakenneratkaisuihin pakottavina Ilmaisuina on käytetty hyvin usein ”tulee estää liiallisissa määrin”, joka antaa paljon tulkinnanvaraa rakenteiden toteuttamiselle (RakMk C4 1978). Maanvaraisen alapohjarakenteen täyttökerroksen lämpötilajakauman analysoinnissa ollaan nykyään eri linjoilla rakentamisajankohtaan nähden. 80-luvulla oletettiin maanvaraisen alapohjarakenteen lämpötilaksi 5 °C. Oletus alapohjan täyttökerroksen lämpötilasta on vääristänyt tulkintaa alapohjarakenteiden kosteusteknisestä toimintavarmuudesta epävarmemmalle puolelle.

3.3 Alapohjarakenteen suunnittelun periaatteet

Alapohjan kosteustila määräytyy rakennekosteuden, kapillaarisen vedennousun ja diffuusiovirtauksen aiheuttamien kosteusrasitusten summana. Rakenteen toiminta on tutkittava kyseisten ilmiöiden aiheuttamille rasituksille kahdessa eri tilassa, jotka ovat rakentamisen aikainen ja pitkäaikaisen käytön aiheuttama kosteustila. (Rakentajan kalenteri 2008, 386-387.)

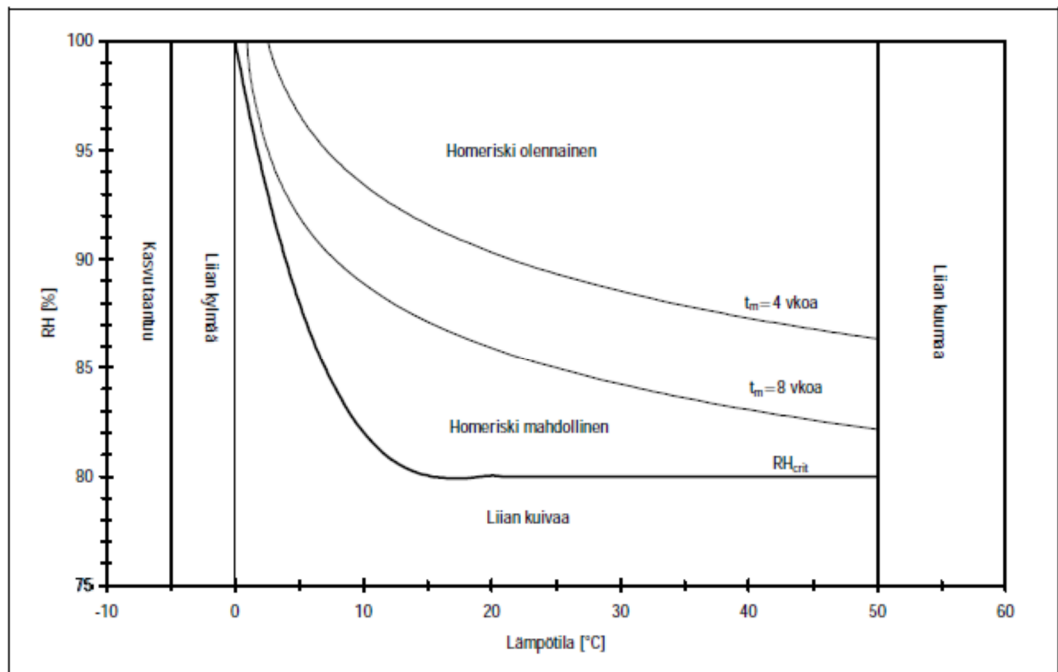
Maanvaraisen laatan toimivuuden varmistamiseksi tulee huomioida kapillaarikatkon riittävä paksuus veden nousun estämiseksi. Alapohja tulee eristää pääosin alapuolelta, jotta pohjalaatta jäisi lämpimämmälle puolelle rakennetta. Lisäksi tulee huomioida läpivientien tiiveys ja laatan riittävä kuivuminen ennen pinnoittamista. (Rakentajan kalenteri 2008, 388.)

3.4 Korjauksen tavoitteet

Alapohjarakenteeseen kohdistuvilla korjauksilla pyritään muuttamaan sen toimintaa kosteusteknisesti toimivampaan suuntaan ja poistamaan kosteudelle arat materiaalit rakenteesta. Alapohjan kosteus- ja lämpötilaolosuhteet luodaan mikrobikasvustolle mahdollisimman epäsuotuisiksi.

Kosteuspitoisuuksista aiheutuvien riskien arviointiin mikrobikasvuston kasvamisen kannalta käytetään kuvion 9 mukaista jakaumaa. Kriittiseksi suhteelliseksi

kosteuspitoisuudeksi on määritetty 80%. Mitoitustulosten kriittinen kosteuspitoisuuskäyrä vastaa suhteellisen kosteuden arvoa 80 %.



Kuva 2.2. Homeen kasvulle suotuisat lämpötila- ja RH-olosuhteet. /3/

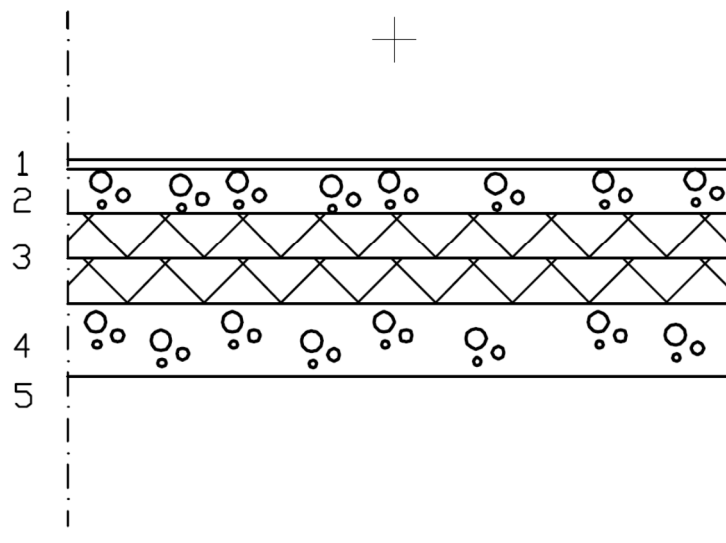
Kuvio 9. Mikrobikasvustolle otolliset olosuhteet (Vinha, Käkälä & Kalamees 2003, 16.)

Pohjalaatassa on laatanvahvistuksia, jotka toimivat kantavina perustuksina yläpohjaa kannateleville väliseinille. Pohjalaatan purkaminen ei ole järkevillä kustannuksilla mahdollista, joten korjaukset kohdistetaan laatan yläpuolisiin osiin. Kaikki kosteusarat rakenneosat nostetaan pohjalaatan pinnalta kivrakenteisina uuden lattiapinnan korolle.

Rakenteen uuteen toimintaan pätee samat lainalaisuudet kuin vanhaankin rakenteeseen. Pohjalaatta tulee jäämään kosteusteknisesti heikkoon olosuhteeseen, mutta rakenteen toiminta pyritään varmistamaan kosteutta hyvin läpäisevillä lattiapinnoitteilla ja muilla alapohjarakenteen materiaali valinnoilla.

3.5 Korjattu alapohjarakenne

Rakenteeseen asennetaan yläpuolinen EPS eristekerros 100mm, jonka pinnalle valetaan uusi pintalaatta 80mm. Lattiapinnoitteeksi tulee keraaminen klinkkeri, jonka saumausten kautta maaperästä nouseva diffuusiovirta pääsee johtumaan huoneilmaan. Rakenne on kuvion 10 mukainen. (Laurinen 2011, 29-31).



1	KLINKKERI 10mm	–	
2	PINTAVALU 80mm	–	C30-2
3	EPS 100 lattila 100mm	–	ESIM. SOKLEX
4	RAAKAVALU 80mm	–	BETONI
5	PERUSMAA	–	KARKEA LUONNONSORA

Kuvio 10. Korjatun alapohjan rakennetyyppi

3.6 Alapohjan rakennusfysikaalinen toiminta

3.6.1 Rakenteen toiminnan arviointi

Eristeen ollessa pohjalaatan päällä, saatetaan pohjalaatta vähitellen maaperän kosteus- ja lämpötilaolosuhteeseen. Kriittisimmässä tapauksessa olosuhteet voivat muodostua otollisiksi mikrobikasvuston kasvamiselle. (RIL 255-2013, 30)

Rakennuksessa 1990-luvulla tapahtunut putkivuoto kiteyttää rakenteessa piilevät riskit, kun vesi pääsee tunkeutumaan pinnan läpi pohjalaatan tasolle, eikä vedellä ole poistumisreittiä. Veden haihtuminen on ainoa reitti pois alapohjarakenteesta, koska muovi estää veden imeytymisen pohjalaattaan ja edelleen maaperään. Vesi imeytyy puurakenteisiin ja voi aiheuttaa niissä mikrobikasvustoa rakenteiden jäädessä kosteaan olosuhteeseen. Lisäksi kosteusvaurio alue voi levitä laajalle alueelle ja sen huomaaminen voi kestää kauan. (Laurinen 2011, 27.)

Rakenteesta poistettu muovikalvo on parantanut rakenteen kosteuden siirtymismahdollisuuksia, koska aikaisemmin muovi on estänyt kosteuden vapaan liikkumisen alapohjatäytön ja sisäilman välillä. Muovin poiston jälkeen rakenteeseen nouseva maakosteus on päässyt virtaamaan huokoisten ainekerrosten läpi aina huoneilmaan saakka. Lisäksi kosteusvirta on mahdollistunut kumpaankin suuntaan kosteustasapainon niin vaatiessa. Pohjalaatan yläpuoliset rakenteet ovat huokoisista materiaaleista, jotka mahdollistavat pohjalaatan kuivamisen huoneilmaan päin.

Nykytietämyksen mukaan alapohjarakenteeseen ei suositella asennettavaksi höyrynsulkukerroksia, mutta maanvarainen alapohjarakenne tulisi eristää pääosin alapuolelta. Toinen tärkeistä kosteusteknisen toiminnan varmistavista säännöistä pätee ja toinen ei. Rakennetta ei päästä tutkittavassa kohteessa eristämään alapuolelta, joten on tyydyttävä ehkäisemään mikrobikasvustolle otollisia olosuhteita muilla ratkaisuilla. Rakenteeseen valitaan kosteuspiikkejä kestävät materiaalit ja huokoisilla pintamateriaaleilla mahdollistetaan kosteuden siirtyminen huoneilmaan.

Rakenteesta ei silmämääräisesti tutkittuna löydy merkkejä kosteusvaurioista eikä mikrobikasvustosta. Rakennuksen ulkopuolinen salaojitus on kunnossa ja mahdolliset kosteuspiikit rakenteessa ovat kuivuneet huokoisten materiaalien läpi huoneilmaan. Tutkimuskohteessa on huomioitavaa, että puukoolaukset on irrotettu betonilaatasta bitumikermikaistoilla, joten rakenteet eivät ole kapillaarisessa kosketuksessa täyttökerrokseen.

Alapohjarakenteen kapillaarikatkokerros on silmämääräisesti kunnossa ja laatassa ei ole havaittavissa kapillaarista vedennousua. Rakennus on rakennettu 1980-luvun

alkupuolelle, joten se on varmasti asettunut ympäristönsä kanssa samaan kosteusolosuhteeseen. Rakenteen laskennallisissa tarkastuksissa otettiin kantaa pelkästään rakenteen diffuusiokäyttäytymiseen.

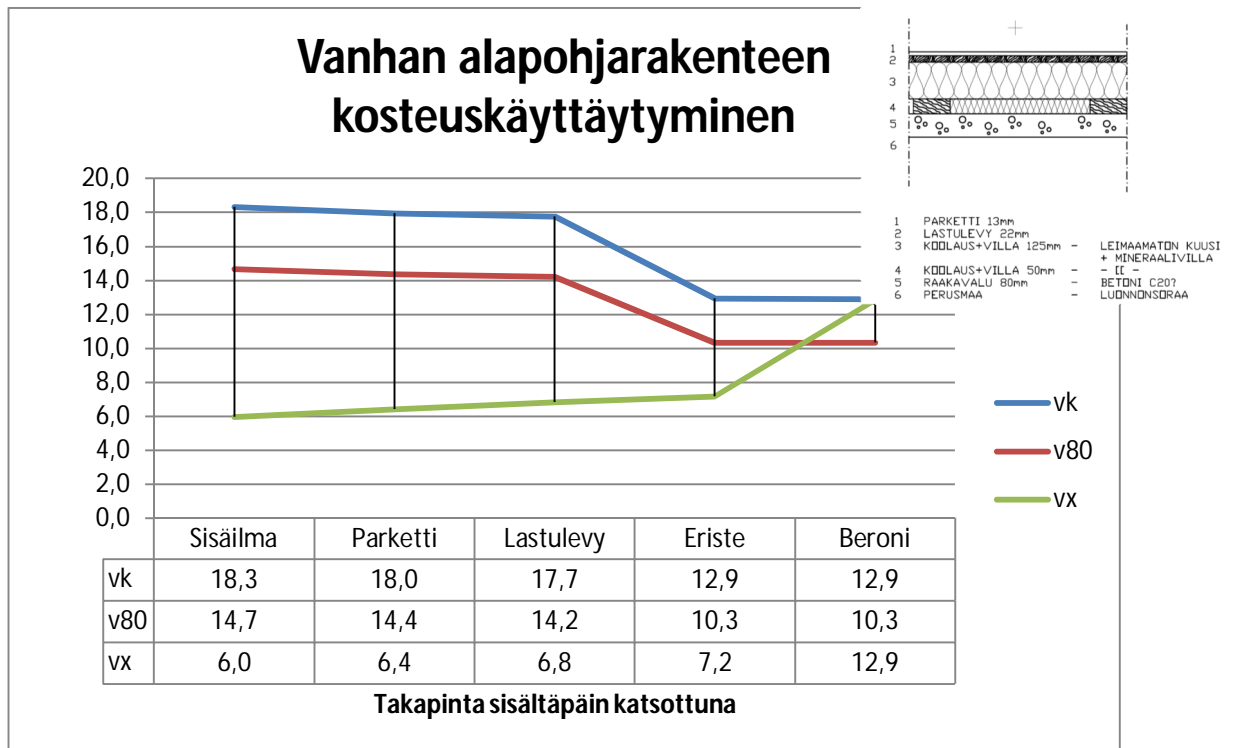
3.6.2 Kosteustekninen toimivuus

Alapohjarakenne on lämmöneristetty, joten pohjamaan mitoituslämpötilaksi voidaan olettaa +15 °C. Lisäksi tulee varmistaa rakenteen toimivuus, kun pohjamaan lämpötila nousee lukemaan +19 °C. (Leivo & Rantala 2002, 8-9).

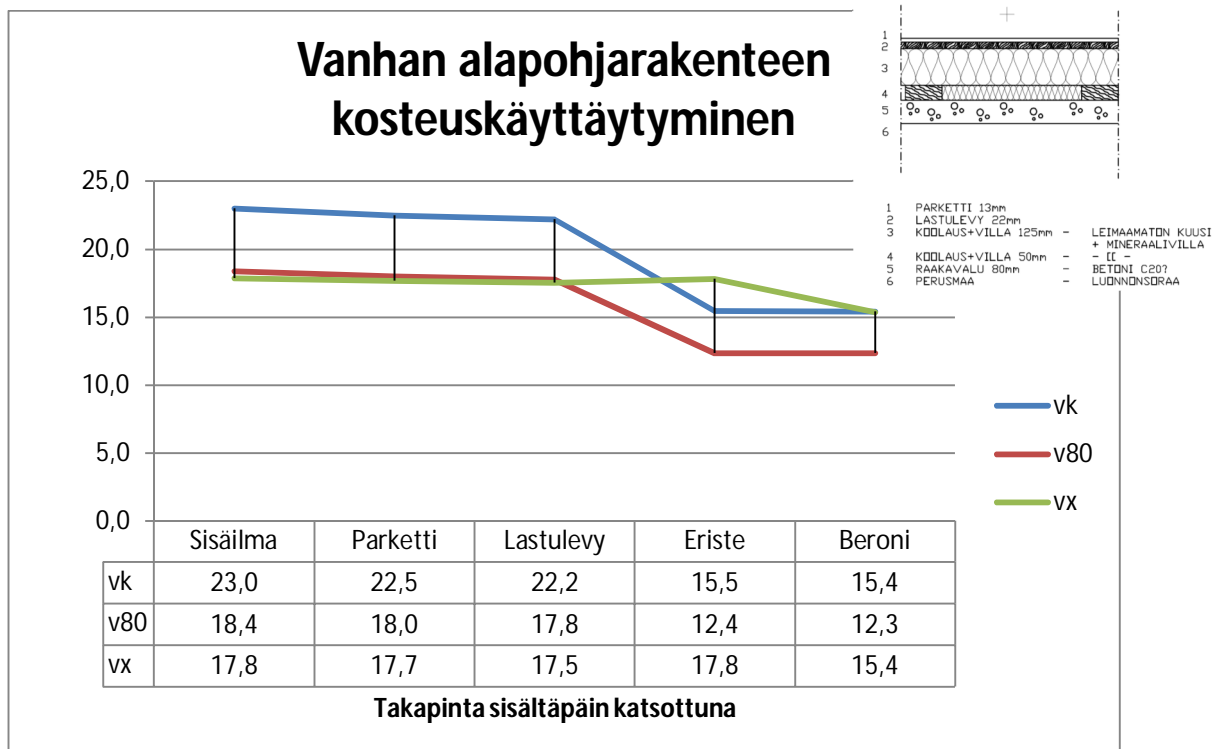
Sisäilmastona tarkistetaan talven kuiva ja kesän kostea sisäilmaolosuhde. Sisäilman kosteusprosentti määräytyy ulkoilman kosteuden ja kosteuden lisätuoton summasta. Kosteuslisänä käytetään 4g/m^3 kun ulkolämpötila alle +5 °C ja $1,5\text{g/m}^3$ kun ulkolämpötila yli +15°C (Vinha, Korpi, Kalamees, Eskola, Palonen, Kurnitski, Valovirta, Mikkilä & Jokisalo 2005, 50).

Talven mitoittava sisäilmaolosuhde on kosteuslisällä laskettuna +21°C RH 34%. Kesän vastaava arvo on +25°C RH 74%, kun oletetaan huoneiston lämpötilan nousevan 4 °C.

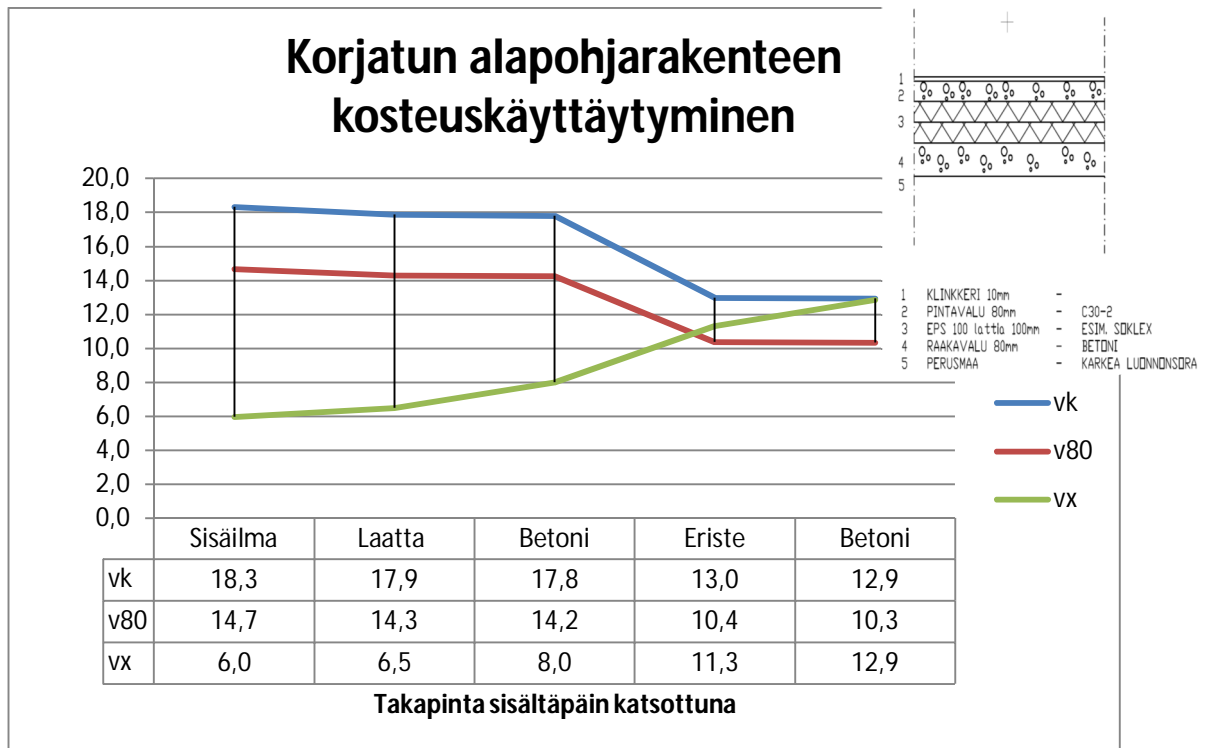
Kuviossa 11-16 on esitetty vanhan, korjatun ja vertailualapohjarakenteen kosteustekninen toimivuus kesä- ja talviolosuhteissa. Alapohjarakennetyyppien kosteustasapainokäyrien muodostuminen on esitetty tarkemmin liitteissä 9 ja 10.



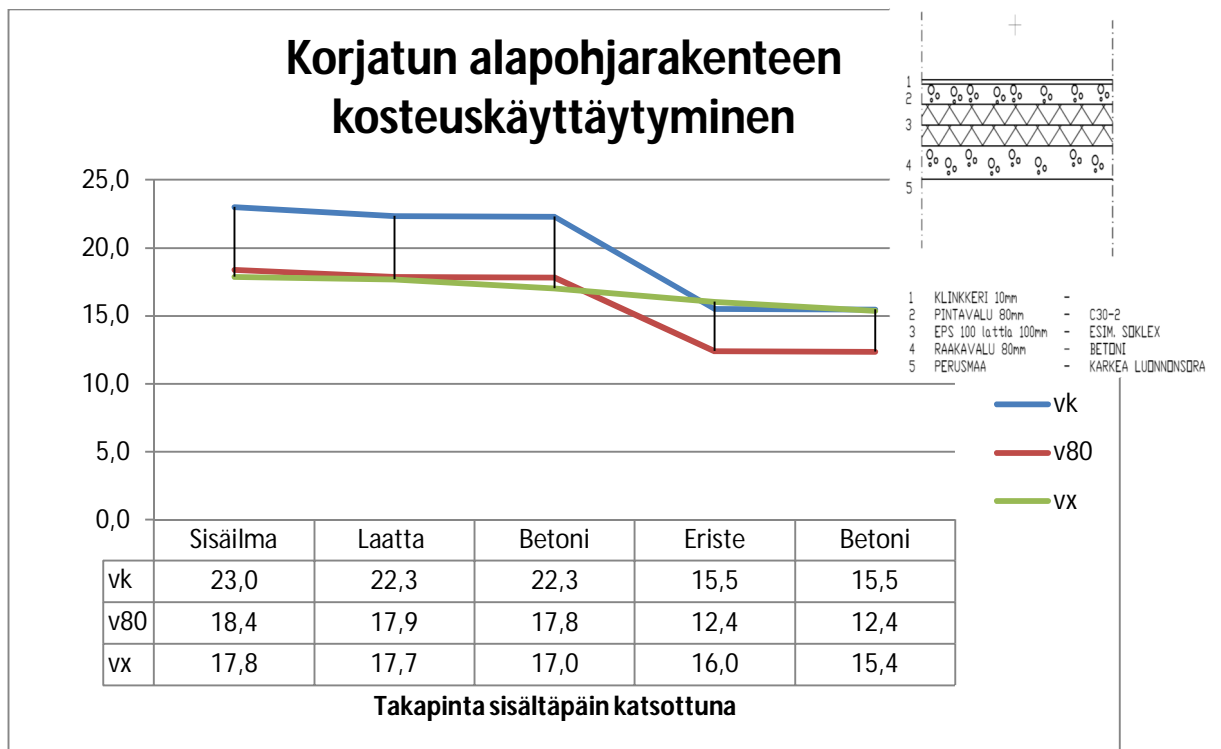
Kuvio 11. Vanha alapohjarakenne talviolosuhteissa



Kuvio 12. Vanha alapohjarakenne kesäolosuhteissa



Kuvio 13. Korjattu alapohjarakenne talviolosuhteissa



Kuvio 14. Korjattu alapohjarakenne kesäolosuhteissa

Tuloksista voitiin todeta vanhan rakenteen toimivuus pääosiltaan, kun sisäilmaolosuhde on kuiva eli vesihöyryn määrä on vähäinen suhteessa kyseisen lämpötilan maksimaaliseen pitoisuuteen. Kriittinen kosteuspitoisuus ylittyi pohjalaatan ja yläpuolisen eristeen rajapinnassa, joka luo mahdollisuuden mikrobikasvuston kasvamiselle puukoolauksien pinnalla. Kosteuden poistuminen huoneilmaan on mahdollistettu ja kapillaarisen vedennousun estävät katkot vähentävät mikrobikasvutoriskiä kyseisessä rajapinnassa, koska kosteutta ei pääse keraantymään rakenteen sisälle.

Vesihöyrypitoisuuden kasvaminen sisäilmassa aiheuttaa kosteusvirran suunnan muutoksen sisäilmasta rajoittuvaan maahan päin. Tästä johtuen rakenteen sisälle muodostui kaavion 2 osoittama kondensoitumisriski pohjalaatan yläpuolisen eristeen ja betonilaatan rajapintaan. Lisäksi rakenteen kosteusmäärät olivat lähellä kriittisiä olosuhteita mikrobikasvuston kasvamiselle lastulevyn ja eristeen rajapinnasta aina pohjalaatan alapuolisen eristeen ja täyttökerroksen rajapintaan saakka. Kesän mitoittava olosuhde on hyvin kriittinen, mutta kesto on suhteessa vuotuisen käyttöön hyvin pieni.

3.6.5 Korjatun alapohjarakenteen kosteustekninen toiminta

Korjatun rakenteen kosteusteknisen toiminta pysyi vanhan rakenteen tasolla, mutta rakenne ei korjattuna sisällä kosteudelle arkoja ja mikrobikasvustolle suotuisia materiaaleja. Korjatun rakenteen kosteuden osapainejakauma on esitetty kaavioissa 3 ja 4.

Verrattaessa vertailurakennetta korjattuun alapohjan rakennetyyppiin huomattiin, että maanvaraisen teräsbetonilaatan alapuolinen eristäminen on huomattavan tärkeässä osassa ajatellen pohjalaatan kosteusolosuhdetta. Kaavioista 5 ja 6 havaittiin, että rakenteeseen ei synny kondensoitumisriskiä mihinkään rajapintaan ja kaikki eristekerroksen yläpuoleiset rakenneosat ovat alle kriittisen kosteuspitoisuuden. Alapuolisella eristekerroksella saadaan estettyä kriittisen

kosteuspitoisuuden ylittyminen pohjalaatassa, mikä ei mahdollistu käytettäessä yläpuolista eristämistä.

Korjatun rakenteen kosteustekninen toiminta muistuttaa vertailurakenteen toimintaan, kun tarkastellaan pohjalaatan yläpuolisia osia, kuin ne olisivat nykyrakenteen maata vasten olevia rakenteita. Kosteuden kriittiset osapaineet eivät ylitä pintalaatan ja EPS eristeen rajapinnassa, joten rakenteella on mahdollisuudet toimia aiheuttamatta mikrobikasvustoa ja mahdollisia sisäilmahaittoja.

4 Ulkoseinärakenteet

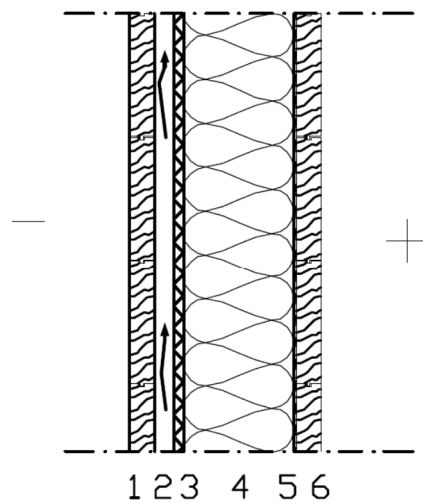
4.1 Vanha ulkoseinärakenne

Kantavan runkona toimii 50x150 mm sahatavara. Rakenne on tuulensuojattu bitumikäsitellyllä tuulensuojatuotteella, jonka ulkopuolella on pystyynkoolaus ja vaakapaneeliverhous. Rungon sisäpuolelle on asennettu höyrynsulkumuovi ja vaakapaneeliverhous. Rungon eristemateriaalin on käytetty mineraalivillaa.

Kohteessa on matalaperustettu valusokkeli, joka on sisäpuolelta eristetty 50 mm EPS eristeellä. Ulkoseinän alapäässä ei ole valesokkelia ja rungot lähtevät pohjalaatan tasolta, joten alajuoksu tuulettuu ulkoilmaan ja sillä on kuivumismahdollisuus myös alapohjan yläpuoleiseen mineraalivilloitettuun eristetilaan. Alajuoksun alle on asennettu irrotuskaista estämään kosteuden nousu sokkelirakenteesta ulkoseinärakenteisiin.

Sokkelin yläpinnan korkeusasema on rakentamisajankohdastaan huolimatta myös nykyvaatimusten mukaisessa 300mm etäisyydessä ympäröivästä maanpinnasta (RakMK C2 1998). Voimassa olleen RakMk C2 1975 mukaan rakenteisiin tunkeutuvasta kosteudesta ja vedestä ei saa olla haitallisia vaikutuksia rakenteen toiminnalle. Rakenteet on toteutettu voimassaolleiden määräysten mukaisesti ja

rakenne on ennen muutostöitä kuvion 17 mukainen.



US1 218mm

1	VAAKAPANEELI 28mm	-	HAVU
2	PYSTYKÖÖLAUS 22mm	-	22X100vs
3	TUULENSUOJA 12mm	-	BITULIITTI
4	RUNKO+ ERISTE 125mm	-	LEIMAAMATON KUUSI + MINERAALIVILLA
5	HÖYRYNSULKUMUOVI	-	EI TIETOA
6	VAAKAPANEELI 28mm	-	HAVU

Kuvio 17. Vanhan ulkoseinän rakennetyyppi

Rakentamisajankohtana voimassaolleiden rakentamismääräysten mukaan rakenteen ilmanpitävyys tuli varmistaa siten, ettei rakenteeseen pääse siirtymään liiallisissa määrin kosteutta (RakMk C4 1978). Kyseinen lämmöneristysohje on ollut voimassa vuoteen 2003 asti. Ilmanpitävien rakenteiden tärkeydestä ei ole tiedetty rakentamisajankohtana, kuten nykyään tiedetään. Kyseessä on rakentamisohje, joten se ei ole sitova ja jättää lisäksi paljon tulkinnan varaa rakenteiden toteutukselle.

4.2 Ulkoseinärakenteen toiminnan periaatteet

Ulkoseinän ulko-osat tulee suunnitella myrskysateenpitäväksi ja tuulen haitallisten vaikutusten estäväksi. Seinän sisäosien tulee olla ilmanpitäviä ja niiden tulee estää

vesihöyryn haitallinen siirtyminen seinärakenteeseen. Lisäksi rakenteen tulee olla lämmöneristävä ja kuivumiskykyinen. (RIL 107-2012, 67.)

Mikrobikasvustolle suotuisien kasvuolosuhteiden minimoimiseksi ja runkorakenteen kylmäsiirtovaikutusten vähentämiseksi on suotuisaa käyttää hyvin vesihöyryä läpäisevää ja lämmöneristävää tuulensuojatuotetta. (RIL 107-2012, 76.)

Ulkoseinärakenteen peruseräkkeet ovat kunnossa, kun rakennusmateriaalit harvenevat sisältä ulospäin. Lisäksi rungon sisäpintaan on asennettu höyrynsulkumuovi, jolla pienennetään diffuusiivirtauksen aiheuttamaa kosteusrasitusta ulkoseinälle. Höyrynsulkumuovi muodostaa rakenteeseen tiiviin kerroksen, jolla hallitaan konvektiovirtauksen aiheuttamien kosteusrasituksien vaikutuksia ulkoseinärakenteen uloimmissa osissa. Höyrynsulkumuovin tulee olla ehjä, jotta siitä on käytännön hyötyä. Rakennusvaipan ilmanpitävyys tullaan varmistamaan purkutöiden yhteydessä ja havaitut puutteet korjataan rakennesuunnittelijan ohjeiden mukaisesti.

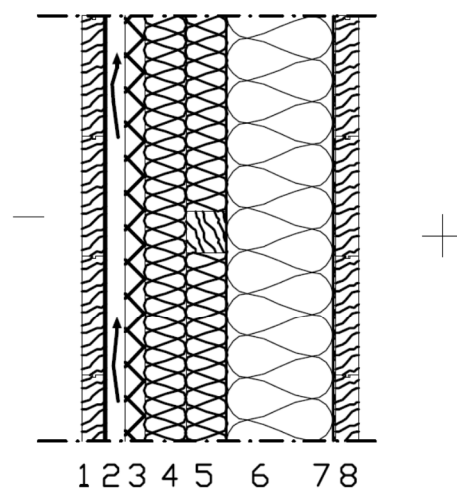
4.3 Muutostyön tavoitteet

Tavoitteena oli muodostaa rakenteelle paremmat lämmöneristävyys ominaisuudet, riskeeraamatta rakenteen kosteusteknistä toimintaa. Lisälämmöneristäminen toteutetaan ulkopuolisena, jotta sisäneliöt säilyisivät lähes ennallaan. Ulkopuolinen eristäminen on vanhaa rakennetta silmälläpitäen varmempaa, koska rakenne saatetaan parempaan lämpö- ja kosteustekniseen olosuhteeseen. Eristäminen toteutetaan hyvin vesihöyryläpäisevillä tuotteilla.

Muutostyön yhteydessä vanhan rakenteen ilmanpitävyyteen kiinnitetään erityistä huomiota. Rakennukseen asennetaan nykyaikainen tulo- ja poistoilmanvaihto, joten rakennuksen hallitun toiminnan varmistaminen vaatii rakenteilta ilmanpitävyyttä.

4.4 Uudistettu ulkoseinärakenne

Vanhasta ulkoseinärakenteesta poistetaan ulkoverhous ja koolaukset sekä tuulensuojabituliitti. Tuulensuojan poistaminen ei ole rakennusfysikaalisesta näkökulmasta välttämätöntä, mutta tässä kohteessa poistamisella varmistetaan seinärakenteiden terveellisyys ja höyrynsulkumuovin aukottomuus. Rakenteeseen lisätään ristiinkoolaus ja runkoleijonatuulensuoja sekä koolaus ja ulkoverhous. Uudistettu ulkoseinärakenne on kuvion 18 mukainen.



US1 218mm

1	VAAKAPANEELI 28mm	-	HAVU
2	PYSTYKÖÖLAUS 22mm	-	22X100vs
3	TUULENSUOJA 25mm	-	Runkoleijona
4	KÖÖLAUS + ERISTE 48	-	48x48+ ISOVER KL33
5	KÖÖLAUS + ERISTE 48	-	48x48+ ISOVER KL33
6	RUNKO+ ERISTE 125mm	-	LEIMAAMATON KUUSI + MINERAALIVILLA
7	HÖYRYNSULKUMUOVI	-	EI TIETOA
8	VAAKAPANEELI 28mm	-	HAVU

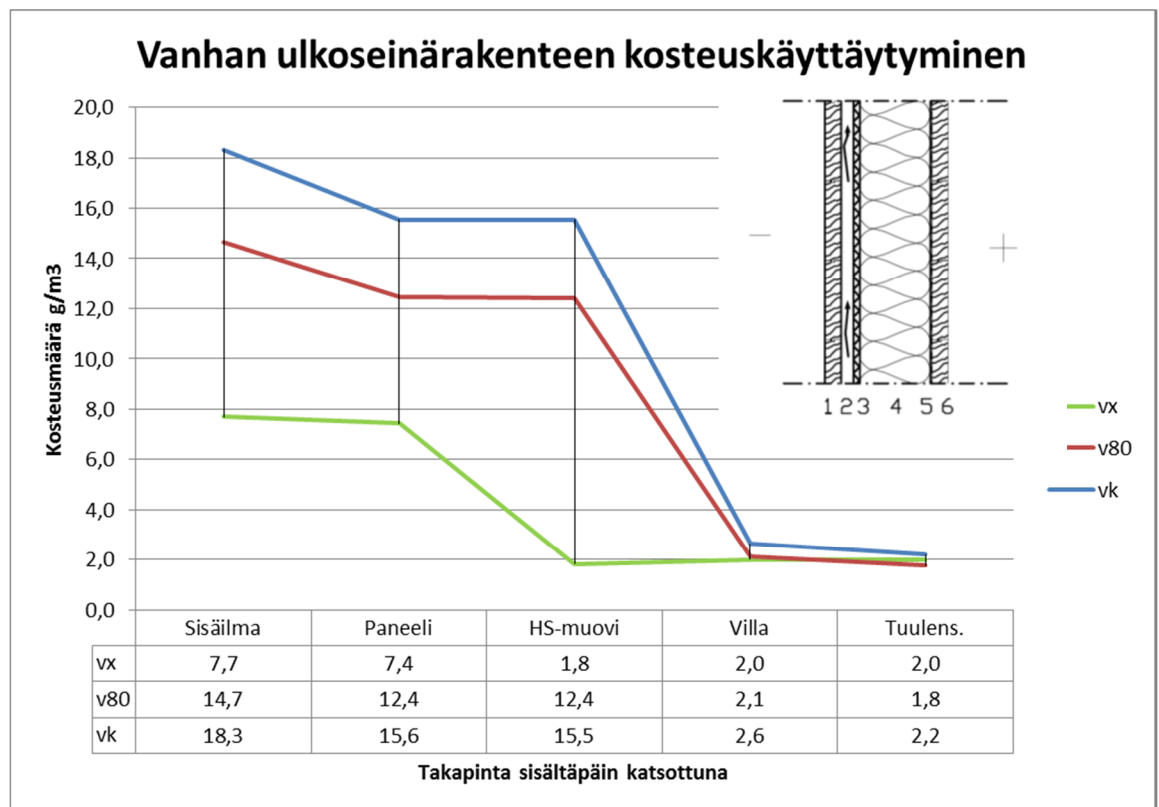
U-ARVO: 0,17 W/m²K

Kuvio 18. Korjatun ulkoseinän rakennetyyppi

4.5 Ulkoseinän rakennusfysikaalinen toiminta

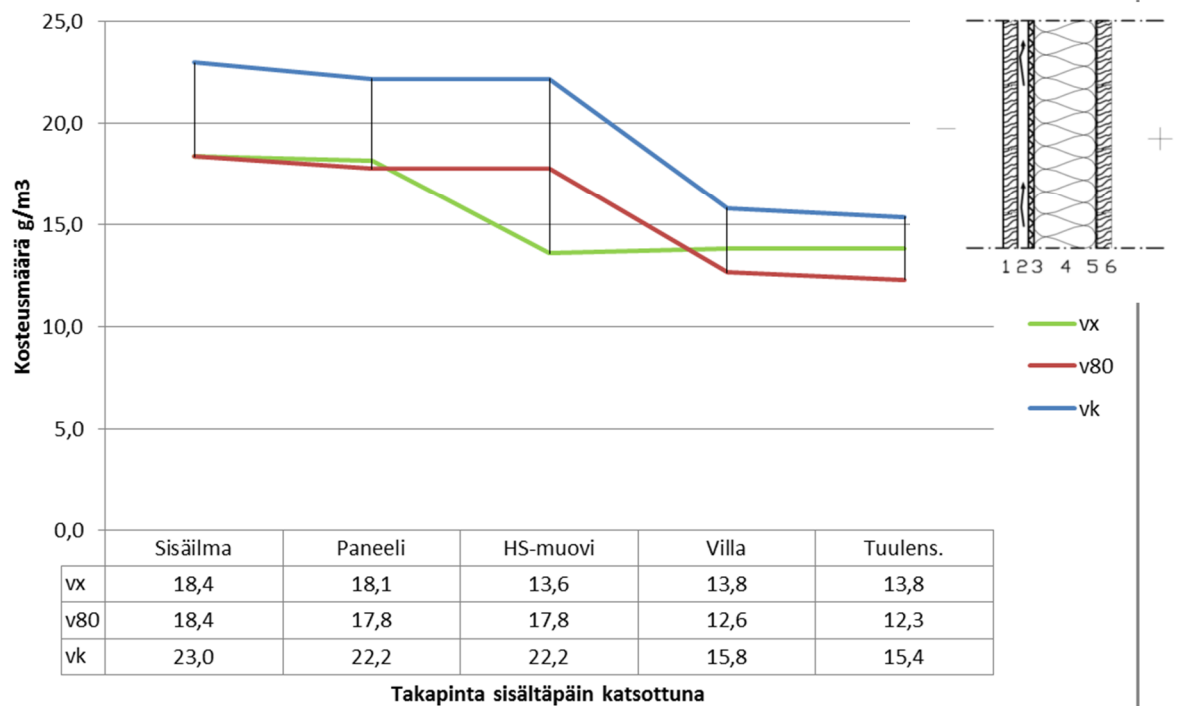
Mitoituksen kriittisenä pisteenä voidaan pitää ulkoseinärungon ja tuulensuojalevyn rajapintaa, jossa vallitsee rakenteen kylmin lämpötila. Lisäksi tulee tarkistaa, ettei kastepistettä synny ennen höyrynsulkumuovia. Kuvioissa 7-12 on esitetty laskentatulokset kesän ja talven mitoittavilla olosuhteilla. Kesän mitoittava olosuhde on ulkoilmassa +18 °C RH 90% ja sisäilmassa 1,5g/m³ kosteuslisällä laskettuna +25°C RH 80%. Talven mitoittava olosuhde ulkoilmassa -10 °C RH 90% ja kosteuslisällä 4g/m³ laskettu sisäilmaolosuhde +21°C RH 33%. (Vinha ym. 2005, 3.

Diffuusiotarkastelun tulokset on esitetty vanhalle, korjatulle ja vertailevalle ulkoseinärakenteelle kuvioissa 19-24. Kaavioista selviää rakennetyyppien rajapintojen kosteusjakaumat mitoittavissa olosuhteissa. Ulkoseinärakenteiden kosteustasapainokäyrien laskenta on esitetty liitteissä 11 ja 12.



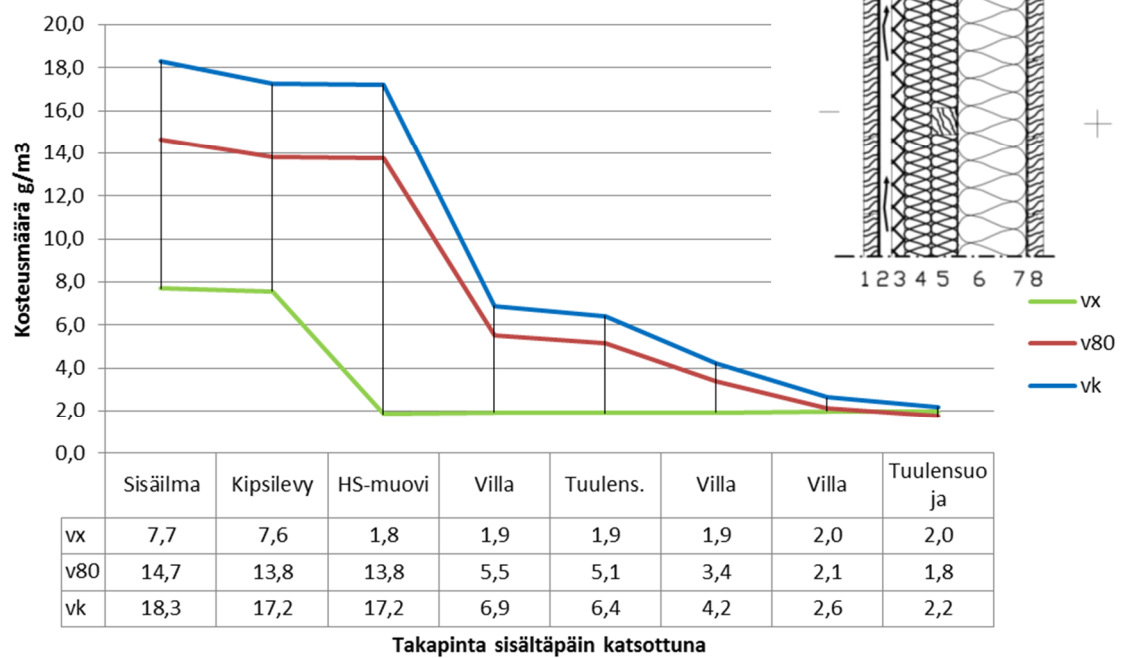
Kuvio 19. Vanha ulkoseinärakenne talviolosuhteessa

Vanhan ulkoseinärakenteen kosteuskäyttäytyminen

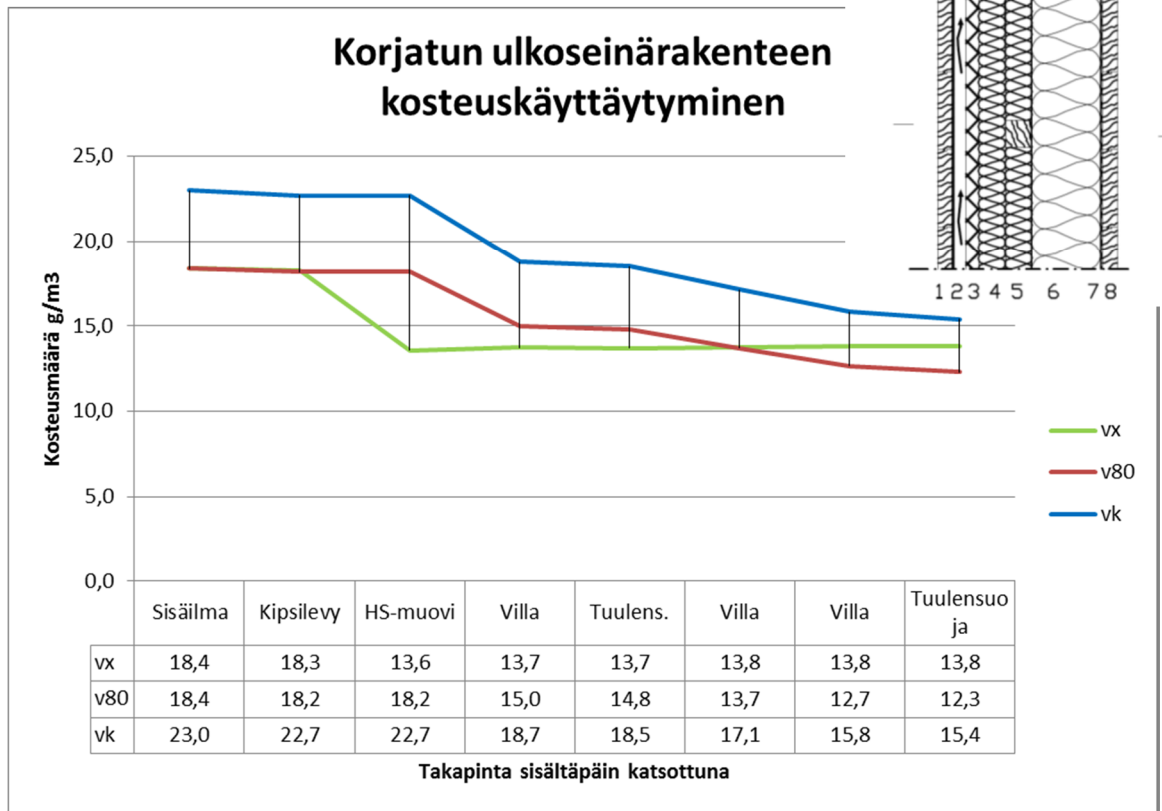


Kuvio 20. Vanha ulkoseinärakenne kesäolosuhteessa

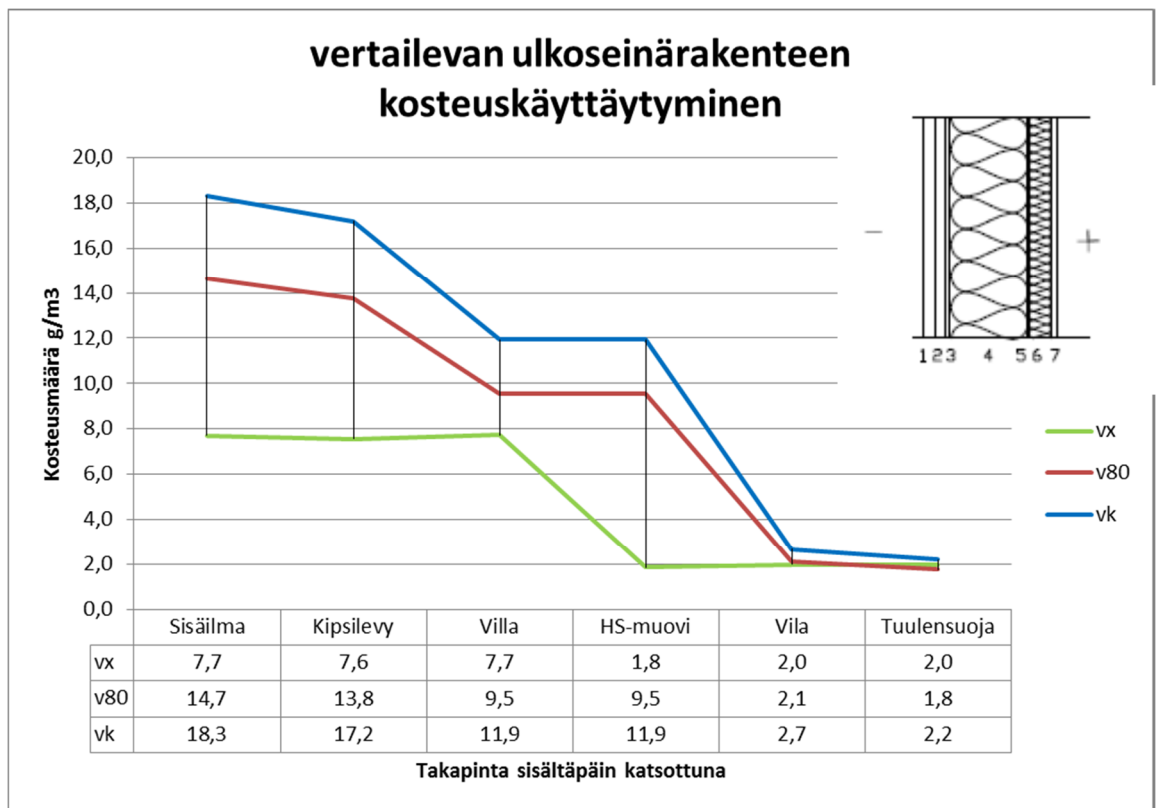
Korjatun ulkoseinärakenteen kosteuskäyttäytyminen



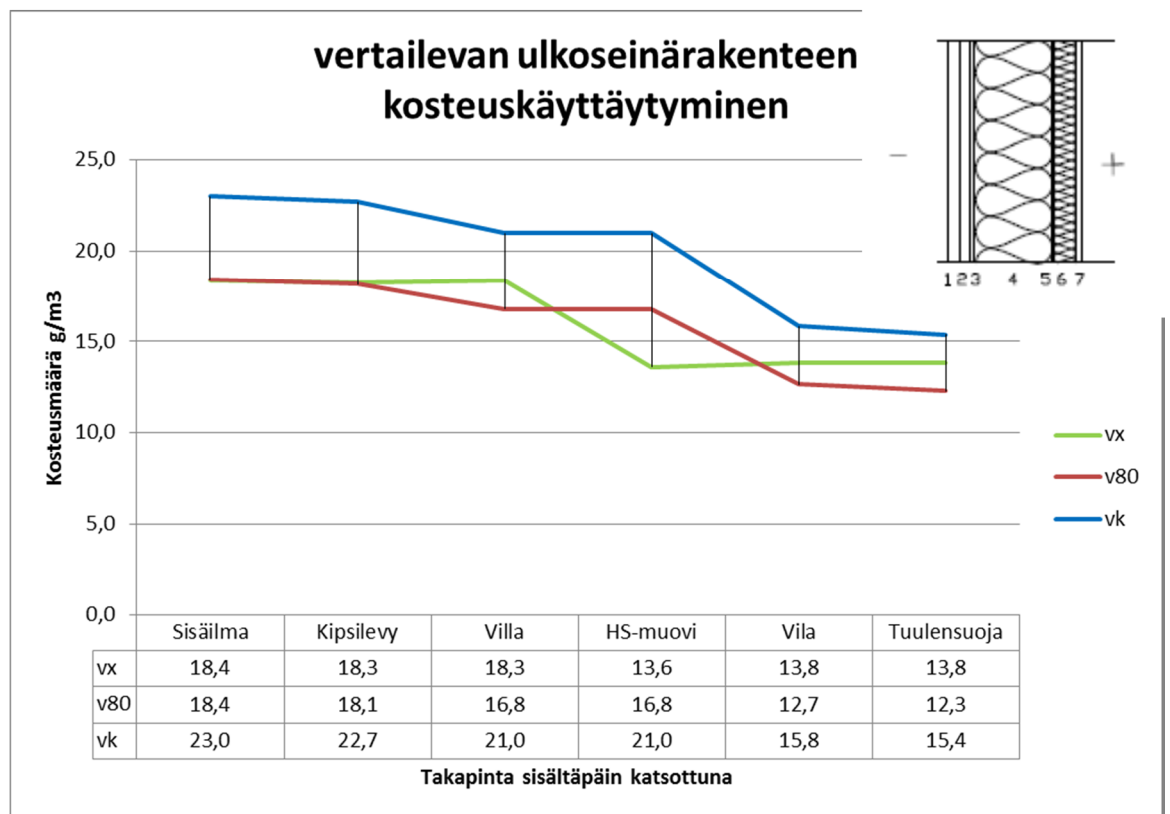
Kuvio 21. Korjattu ulkoseinärakenne talviolosuhteessa



Kuvio 22. Korjattu ulkoseinärakenne kesäolosuhteessa



Kuvio 23. Vertaileva ulkoseinärakenne talviolosuhteessa



Kuvio 24. Vertaileva ulkoseinärakenne kesäolosuhteessa

4.5.1 Vanhan ulkoseinärakenteen kosteustekninen toiminta

Vanhan ulkoseinärakenteen toimii mitoittavassa kesä- ja talviolosuhteessa. Kriittinen kosteus ylittyi vain kesän pahimmassa kosteustilanteessa yhdessä rajapinnassa. Rajapinta on eristeen ja tuulensuojan liitosalue. Mitoitusolosuhde ei ole pitkäaikainen, joten hetkellisestä kriittisen kosteuden ylittymisestä ei ole suurta vaaraa rakenteelle. Laskelmien perusteella kondenssiriskiä ei ole missään rakenteen rajapinnassa.

4.5.2 Korjatun ulkoseinärakenteen kosteustekninen toiminta

Verrattaessa uudistettua rakennetta vanhaan rakenteeseen havaittiin sen toimivan kosteusteknisesti vastaavalla tavalla. Kondenssiriskiä ei muodostu kumpaankaan rakenteeseen, mutta kesäolosuhteen kriittisen osapaineen ylittyminen tapahtui

uudessa rakenteessa hieman keskemällä rakennetta kuin mitä vanhassa rakenteessa.

Laskelmat vahvistivat uudistetun rakenteen olevan kosteusteknisesti toimiva, mutta se ei salli konvektiovirtauksia rakenteeseen. Konvektiovirtaus aiheuttaa rakenteeseen huomattavia lisäkosteuskuormia diffuusiotarkasteluun nähden. Kun rakennepaksumuus kasvaa on rakenteella myös hitaampi kuivumisaika. Tätä taustaa vasten ilmanpitävyys on vieläkin tärkeämmässä asemassa, kuin mitä se on 80-luvun rakennetyypeissä.

Verrattaessa uudistettua rakennetta vertailurakenteeseen havaittiin, että rakenteet toimivat lähes identtisesti höyrynsulusta ulospäin. Vertailurakenteeseen asennettu höyrynsulun sisäpuoleinen lisäeristys aiheuttaa osapainejakaumaan kriittisen osapaineen ylittymisen kesäolosuhteessa, mutta ei aiheuta kondenssiriskiä. Rakenteelle ei muodostu suurta uhkaa kosteudesta. Huomioitavaa on, ettei kosteisiin tiloihin saa missään nimessä asentaa höyrynsulkutuotteen sisäpuolelle lisäeristystä. Kaaviossa 13 on esitetty vesihöyryn osapainejakauma vertailurakenteelle talviolosuhteessa ja kaaviossa 14 kesäolosuhteessa.

Tulokset osoittivat rakenteen ilmanpitävyyden tärkeyden. Jos rakenne ei ole ilmanpitävä, aiheutuu rakenteen rajapintoihin konvektiovirtauksen vaikutuksesta lisärasitusta. Tuloksiin verraten tällaisiin lisäkosteuksiin ei ole toiminnallisesta näkökulmasta varaa.

5 Yläpohjarakenteet

5.1 Vanhan yläpohjan rakenneratkaisu

Kohteessa on käytetty ristikkorakenteista yläpohjaa, jossa vesikatteena palahuopakate. Yläpohjan eristepaksuutena on 400 mm mineraalivillaa ja sisäpuolella höyrynsulkumuovi. Yläpohjan tuuletus on järjestetty räystäältä räystäälle. Päätykolmiossa ei ole RakMk C2 1998 vaatimusten mukaista tuuletusta ulkoilmaan.

Räystäällä ei ole myöskään tuuliohjaimia estämässä ilmavirran pyörrettä seinän ja vesikaton liittymäalueella.

Rakenteiden toteutus on rakentamisajankohdan mukaisella tietotaidolla tehty. Voimassa olleissa määräyksissä on esitetty, että kattorakenteen tulee estää veden pääsy sisätiloihin ja haitallinen tunkeutuminen rakenteisiin. Lisäksi tulee varmistua, että sisäilmasta tunkeutuva vesihöyry ei tunkeudu haitallisessa määrin rakenteisiin ja tuuletus on riittävä. Tuuletuksen järjestäminen räystäältä räystäälle voidaan tulkita määräystekstin mukaan riittäväksi. (RakMk C2 1975, 2.)

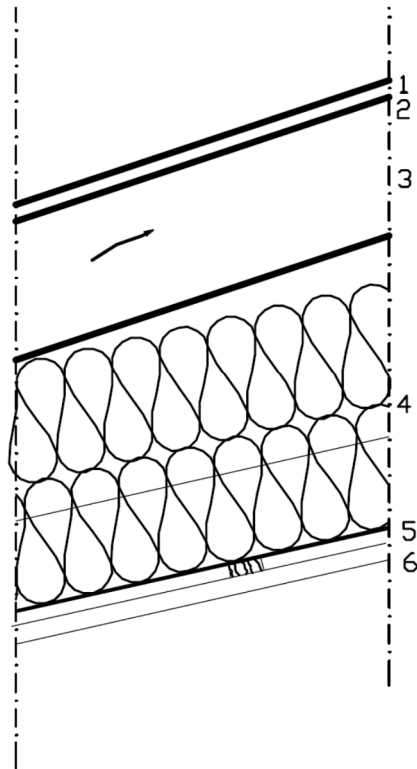
Räystääsalueella oleva tuuletusrako on paikoin hyvin pieni. Eristetilan suuresta määrästä johtuen tuuletusreitti on likimain tukossa, kuten kuvasta 13 voidaan havaita. Tuulettumisen puuttuminen lisää kosteusriskiä yläpohjan uloimmissa osissa.

Rakennuksessa on pääosin vino sisäkatto, mutta pesutiloissa ja makuuhuoneissa on koolatut suorat sisäkatot. Makuuhuoneiden päällä olevissa rakenteissa höyrynsulkumuovi on tuotu saksiristikon tasolta koolausten alapuolelle kuviossa 25 näkyvällä tavalla. Rakennetyypeissä käsiteltiin vinon sisäkattorakenteen toimintaa, koska muutostöiden yhteydessä sisäkattorakenteet toteutetaan saksiristikoiden alapintaan kosteitiloja lukuun ottamatta.



Kuvio 25. Yläpohjarakenne makuuhuoneen kohdalla

Purkutyön yhteydessä havaittiin, että muutamalla reuna-alueella on materiaali loppunut kesken. Höyrynsulkumuovin sijaan on käytetty villapaketeista jääneitä suojamuoveja korvaavana tarvikkeena. Rakenteiden muutostyön yhteydessä tullaan kiinnittämään huomiota yläpohjan ilmanpitävyyden varmistamiseen. Rakenne oli ennen muutostöitä kuvion 26 mukainen.



1	VESIKATE	-	Bitumikermikate
2	UMPILAUDOITUS	-	20x95 RPL
3	NR KATTORISTIKKO	-	
4	ERISTE 400mm	-	Mineraalivilla
5	HS-MUOVI	-	PE-Muovikalvo SFS4225
6	KOOLLAUS 22mm	-	22*50 VS
7	PANEELIVERHOUS 28mm	-	Kuusipaneeli

Kuvio 26. Vanhan yläpohjan rakennetyyppi

Rakennuksen rakennusaikakaudelle oli tyypillistä käyttää vesikatteenä bitumihuopakatetta ja yläpohjan tuuletus on yleisesti vajavaisesti järjestetty. Ongelmiksi ovat muodostuneet huonosti tehdyt läpiviennit sekä höyrynsulkumuovien limitykset. Nämä puutteet aiheuttavat rakenteeseen tiivistyvän vesihöyryn kautta kosteuskuormaa ja mahdollisia laho- ja homevaurioita. (Laurinen 2011, 40-41.)

5.2 Yläpohjarakenteen korjauksen tavoitteet

Vesikattorakenteisiin ei saa kerääntyä haitallisia määriä kosteutta sisätiloista. Olosuhteiden luonnollisista muutoksista aiheutuneen tiivistyneen kosteuden tulee päästä poistumaan rakenteesta vaurioita aiheuttamatta. Vesikaton tulee olla riittävän kalteva ja vedenpitävä estämään veden tunkeutuminen sen alapuolisiin rakenteisiin. (RIL 107-2012, 90.)

Yläpohjarakenteessa havaitut höyrynsulkumuovin puutteet aiheuttavat vuotoilmavirtaa ja energiahukkaa. Korjaustöiden yhteydessä varmistetaan yläpohjarakenteen riittävä ilmanpitävyys uusimalla yläpohjarakenteen höyrynsulkumuovi tarvittavilta osin. Toimilla ehkäistään yläpohjarakenteen kosteuskuormaa ja lisätään todellista energiatehokkuutta.

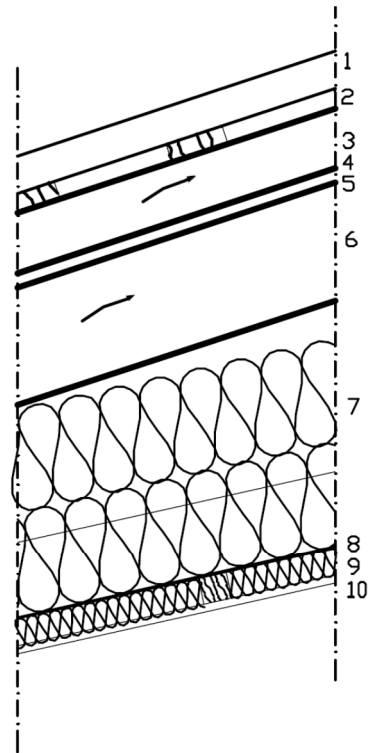
Yläpohjarakenteen tuulettuvuus varmistetaan uuden vesikattorakenteen rakenneratkaisuilla ja päätykolmioihin asennettavilla tuuletusventtiileillä, jotka ovat vähintään 4 promillea yläpohjarakenteen pinta-alasta (RakMk C2 1998, 14). Vesikate on alkuperäinen, joten 30 vuotta vanha bitumikermi korvataan saneerauksen yhteydessä, vesikatteen vedenpitävyyden varmistamiseksi.

5.3 Uudistettu yläpohjarakenne

Lämmöneristävyyteen ei ole tarvetta tehdä suuria muutoksia, sillä yläpohjan lämmöneristävyys on likimain vertailurakenteen tasolla. Muutostyöt keskitetään ilmantiiviyden ja vedenpitävyyden varmistamiseen ja samalla asennetaan uuden höyrynsulkumuovin alapuolelle 50 mm lisäeristys.

Rakenteessa ei tehty kosteusteknisesti muita muutoksia, kuin ilmantiiveyden parantaminen ja 50 mm lisäeristys sisäpuolelle. Yläpohjaan asennetaan uusi vesikate ja räystäsrakenteiden kasvattamistarve toteutetaan vanhan vesikatteen päälle tehtävällä koolauksella. Vesikatemateriaali vaihdetaan bitumilaattakatteesta

profiilipeltikatteeseen. Uudistettu rakenne on kuvion 27 mukainen.



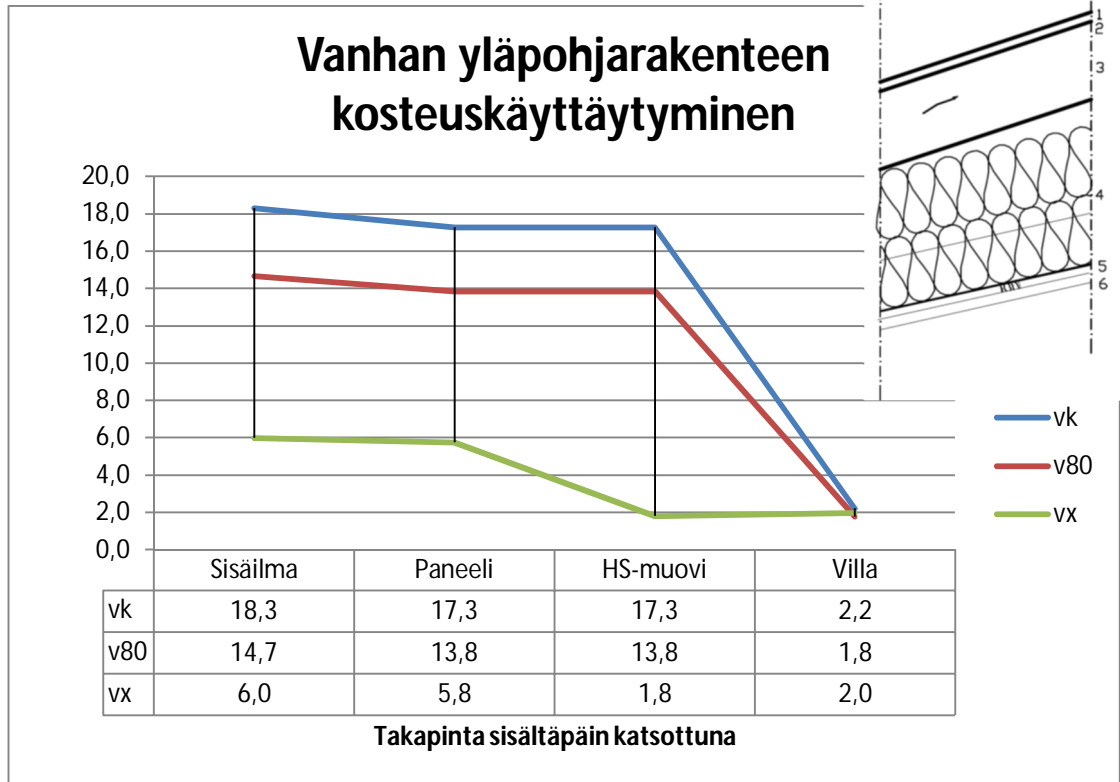
1	PROFIILIPELTIKATE	-	Esim. Weckman
2	Ruoteet 22mm	-	22X100vs
3	KOOLLAUS 100mm	-	48X98 C24
4	VANHAVESIKATE	-	Bitumikermikate
5	UMPILAUDOITUS	-	20X95 RPL
6	NR KATTORISTIKKO	-	
7	ERISTE 400mm	-	Mineraalivilla
8	HS-MUOVI	-	PE-Muovikalvo SFS4225
9	KOOLLAUS+ERISTE	-	48X48 + Isover KL33
10	Kipsilevy 13mm	-	Gyproc GN13

Kuvio 27. Korjatun yläpohjan rakennetyyppi

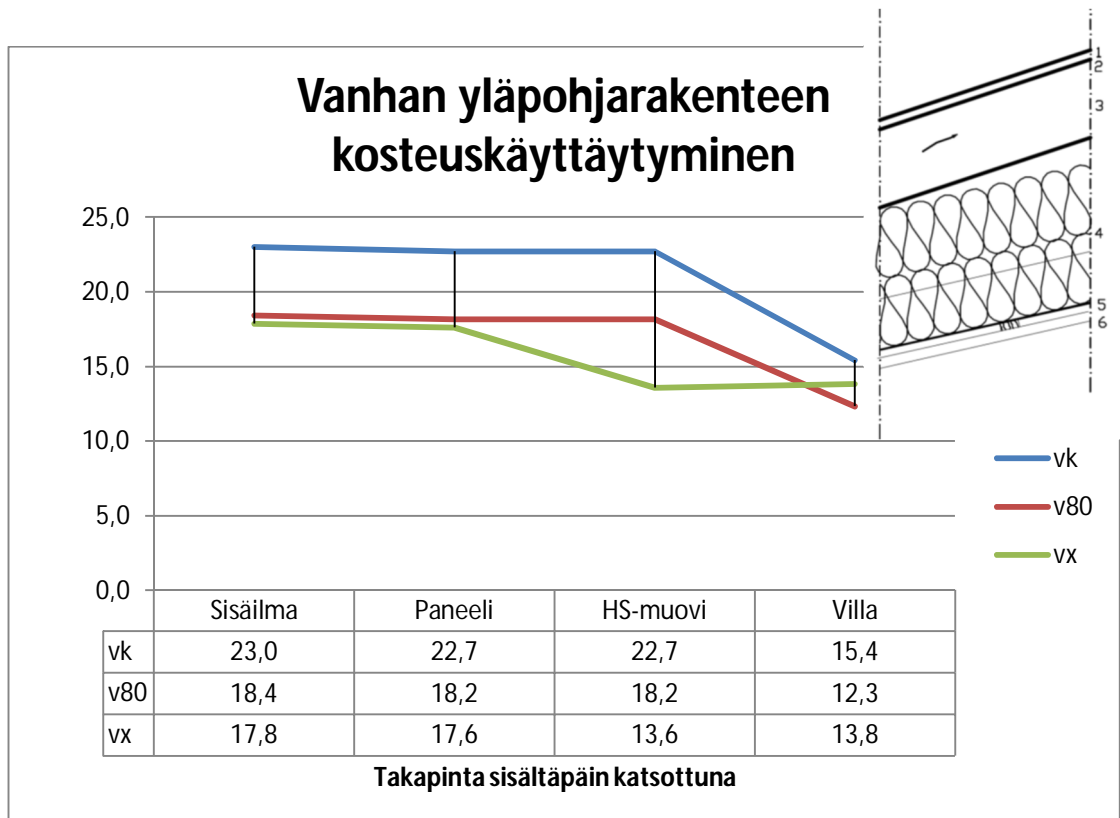
5.4 Yläpohjarakenteen kosteustekninen toimivuus

Diffuusiokäyttäytymistä mallinnettaessa rakenteelle voidaan käyttää samoja oletusarvoja, kuin ulkoseinärakennetta tutkittaessa. Sisäilma on vastaava ja yläpohjaeristeen päällä olevan ilman lämpötila oletetaan ulkoseinän tuuletusrakoa vastaavaksi.

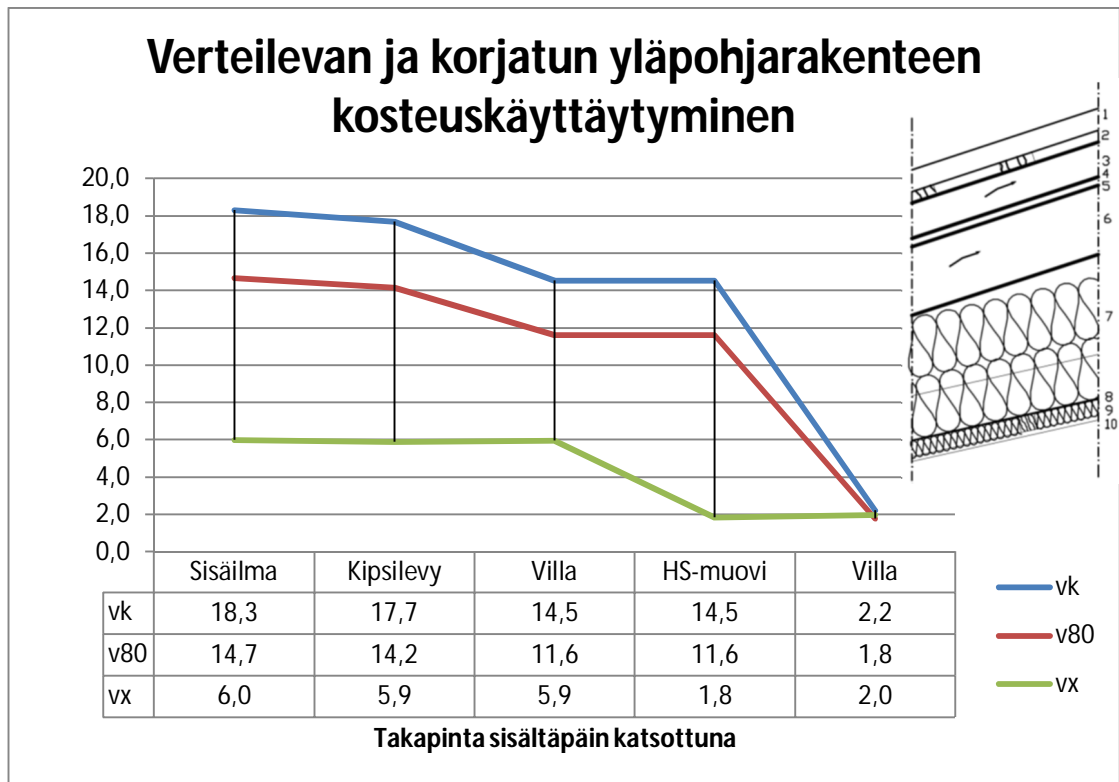
Kuvioissa 28-31 on esitetty yläpohjarakenteiden kosteustekninen toiminta mitoittavissa kesä- ja talviolosuhteissa eri rakennetyypeille. Yläpohjarakenteiden kosteustasapainokäyrien laskenta on esitetty liitteissä 13 ja 14.



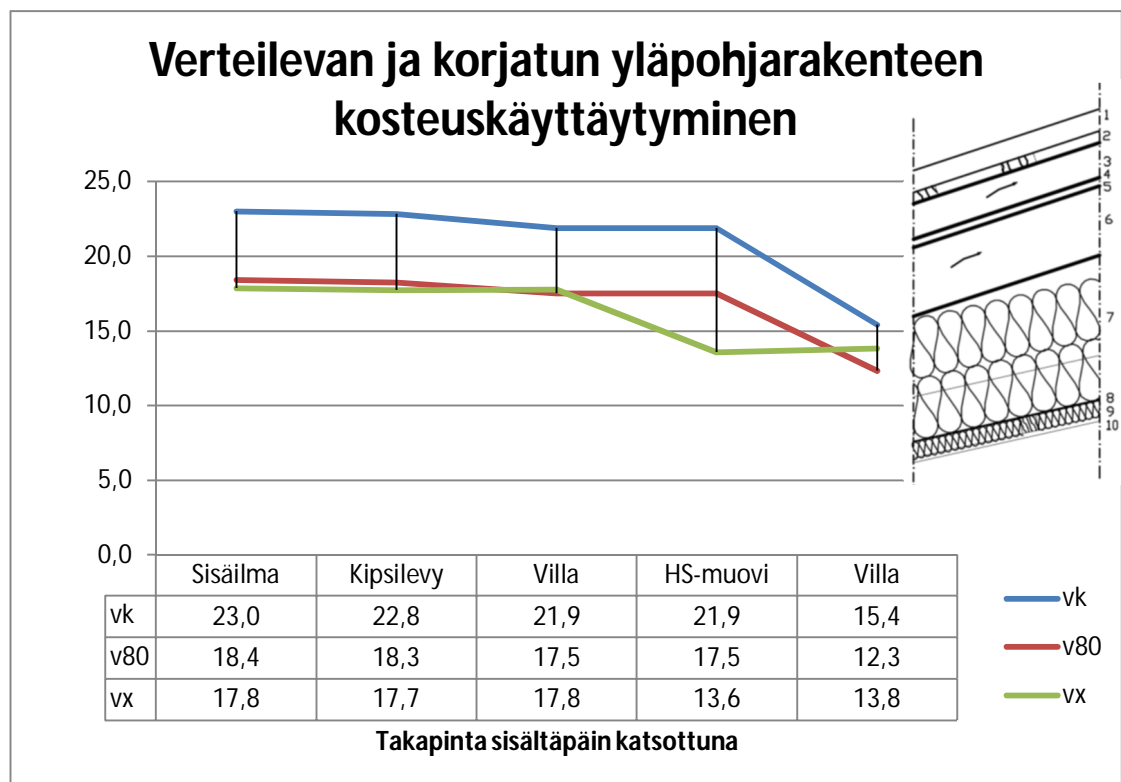
Kuvio 28. Vanha yläpohjarakenne talviolosuhteissa



Kuvio 29. Vanha yläpohjarakenne kesäolosuhteissa



Kuvio 30. Korjattu ja vertaileva yläpohjarakenne talviolosuhteessa



Kuvio 31. Korjattu ja vertaileva yläpohjarakenne kesäolosuhteessa

5.5 Tulosten arviointi

Rakenteen vesihöyryn osapainekäyristä voitiin todeta, että rakenne toimii teoreettisesti laskettuna ilman riskejä. Kesäolosuhteen kriittisen kosteuden ylittyminen tapahtui laskennallisesti vasta eristekerroksen yläpuolella, missä ulkoilman mitoitusolosuhde oli jo itsessään yli kriittisen kosteuspitoisuuden. Rakenne pääsee kuivumaan aiheuttamatta suurta riskiä mikrobikasvuston kasvamiselle.

Kosteusteknisesti uudistettu yläpohjarakenne toimii kaikissa olosuhteissa. Eroavana jakaumaerona vanhaan yläpohjarakenteeseen on suurempi suhteellinen kosteus höyrynsulkumuovin sisäpinnalla. Ero johtuu uuden rakenteen sisäpuoleisesta eristyksestä, jota ei vanhassa rakenteessa ole. Käytännön kosteusteknisen toimivuuden merkitystä eristyksellä ei ole, koska suhteellinen kosteus jää alle kriittisen kosteuden uudistetulla ja vanhalla yläpohjarakenteella. Uudistettu yläpohjarakenne vastaa vertailurakennetta, joten vesihöyryn osapaine jakaumat vastaavat toisiaan.

6 Korjausrakennuskohteen energiatehokkuus

6.1 Ympäristöministeriön asetus Korjaus- ja muutostöiden energiatehokkuudesta

Asetus 4/13 tulee voimaan omakotitalokohteissa 1.9.2013. Määräykset eivät näin ollen sidon tutkimuskohteen muutostöitä. Asetuksessa annetaan 3 menetelmää rakennusosien energiatehokkuuden parantamisen osoittamiseksi: (A 27.2.2013/4, 2.)

- 1) Rakennusosakohtaisen energiatehokkuuden parantaminen:
 - a. Ulkoseinän ja yläpohjan lämmönläpäisykerroin tulee puolittaa
 - b. Alapohjan energiatehokkuutta parannetaan mahdollisuuksien mukaan
 - c. Uusien ikkunoiden ja ovien on oltava lämmönläpäisykertoimeltaan $1,0\text{W/m}^2\text{K}$ tai parempia
- 2) Standardikäyttöön perustuva energiankulutuksen pienentäminen

- a. Pientalon energiankulutuksen tulee olla muutostöiden jälkeen $\leq 180\text{kWh/m}^2$
- 3) Standardikäyttöön perustuvan kokonaisenergiankulutuksen pienentäminen
 - a. Pientalon standardikäytön kokonaisenergiankulutus tulee olla seuraavan vaatimuksen mukainen: E-vaadittu $\leq 0,8 \times E\text{-laskettu}$

Ympäristöministeriö on antanut vaatimukset myös teknisten järjestelmien muutostöihin. Teknisiin järjestelmiin kohdistuvissa korjauksissa tulee noudattaa seuraavia määräyksiä: (A 27.2.2013/4, 2)

- 1) Rakennuksen ilmanvaihdon vuosihyötysuhteen on oltava yli 45%
- 2) Koneellinen tulo- ja poistoilmajärjestelmän sähköteho saa olla enintään $2,0\text{kW}/(\text{m}^3\text{s})$
- 3) Koneellisen poistoilmajärjestelmän ominaissähköteho saa olla enintään $1,0\text{kW}/(\text{m}^3\text{s})$
- 4) Ilmastointijärjestelmän ominaissähköteho saa olla enintään $2,5\text{kW}/(\text{m}^3\text{s})$
- 5) Lämmitysjärjestelmien hyötysuhdetta parannetaan laitteiden ja järjestelmien uusimisen yhteydessä mahdollisuuksien mukaan
- 6) Vesi- ja/ tai viemärijärjestelmien uusimisessa sovelletaan, mitä uudisrakentamisessa säädetään.

Korjauskohteen rakenteet tulee valita siten, että lämpö-, ääni- ja kosteustekninen toimivuus varmistetaan. (A 27.2.2013/4, 4.)

6.2 Energiatehokkuuden toteaminen

Tutkittavassa kohteessa osoitettiin rakennuksen energiatehokkuus käyttämällä asetuksen menetelmää 3 , jossa tarkastellaan rakennuksen kokonaisenergian kulutusta. Projekti on opinnäytetyötä kirjoitettaessa siinä vaiheessa, että rakennuksen teknisistä järjestelmistä ei ole vielä varmennettua tietoa, joten rakennuksen käytönaikaisia kustannussäästöjä tullaan tutkimaan rakennusosien kautta muodostuvilla säästöillä.

Rakennuksen kokonaisenergiatehokkuuden parantuminen nähdään suoraan E-luvusta, johon vaikuttavat rakennusosien lämmönläpäisykertoimien lisäksi ilmanvaihto, lämmitysmuoto, kylmäsiilat, ilmavuodot vaipparakenteiden läpi, kuluttajalaitteiden energiankulutus jne. (RakMk D3 2012, 6.)

Korjaustoimenpiteillä pyritään varmistamaan rakennusosien ilmanpitävyys ja liittyvien rakennusosien liitosten tiiveys siten, että rakennuksen vuotoilmavirta pienenee oleellisesti alkuperäisestä. Rakennukseen tehdään painekoe, mutta rakennusprosessi on sen verran kesken, etteivät testitulokset ehdi valmistua tähän opinnäytetyöhön. Ilmanpitävyyden parantumista ei voida tästä syystä ottaa laskennallisesti huomioon.

Varaavilla tulisijoilla, optimoidulla ilmanvaihdolla, kuluttajalaittevalinnoilla ja rakenteiden tiiveydellä on suuri vaikutus rakennuksen kokonaisenergiankulutukseen. Nykyisessä rakennuksessa on sähkölämmitys ja uudesta lämmitysmuodosta ei ole tehty päätöstä. Korjatun rakennuksen lämmitysmuodoksi oletetaan laskelmissa vastaava lämmitysmuoto kuin alkuperäisessä rakennuksessa. Sähkön hintana käytetään 0,10€/kWh

6.3 Energiahäviö rakenneosissa

Rakennuksen rakennusosien energiankulutus määritetään yhtälöllä 19: (RakMk D5 2012, 18.)

$$Q_{\text{rakosa}} = \sum U_i A_i (T_s - T_u) \Delta t / 1000 \quad (19)$$

jossa

Q_{rakosa}	johtumislämpöhäviö rakennusosan läpi (kWh)
U_i	rakennusosan i lämmönläpäisykerroin (W/(m ² K))
A_i	rakennusosan i pinta-ala (m ²)
T_s	sisäilman lämpötila
T_u	ulkoilman lämpötila
Δt	tarkasteltavan ajanjakson pituus
1000	kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi

Vanhoilla ja uudistetuilla rakennusosilla toteutetun rakennuksen energiankulutuksia verrataan keskenään ja pyritään määrittämään vuotuinen kustannushyöty rakennusosien muutostöistä. Vaipparakenteiden lämmönläpäisykertoimet lasketaan kohdan 2 mukaisilla menetelmillä.

6.3 Energiasaneerauksen käyttökustannusvaikutukset

6.3.1 Alapohjan lämpöhäviö

Rakenteen lämmönläpäisevyys vanhoilla rakenteilla on $0,13 \text{ W/m}^2\text{K}$. Muutostöiden jälkeen lämmönläpäisevyys heikkenee arvoon $0,23 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Lämmönläpäisykertoimien laskenta on esitetty liitteissä 1,2 ja 3. Alapohjarakenteen lämmönläpäisykertoimen vertailuarvo on $0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$ ja rakenteelle asetettu yläraja $0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$. Rakenne on sallituissa rajoissa. Alapohjan pinta-ala on 96 m^2 .

Vanhoilla rakenteilla rakennus kuluttaa 1373 kWh ja uudistetuilla rakenteilla 1796 kWh vuodessa. Tarkemmat laskelmat on esitetty liitteissä 15 ja 16.

Alapohjarakenteen kautta aiheutuva lämpöhukka on 177% vanhaan alapohjarakenteeseen nähden. Mikrobikasvustolle suotuisten olosuhteiden minimoimiseksi jouduttiin tinkimään alapohjarakenteen energiatehokkuudesta ja vuotuinen käyttökustannus kasvoi.

$$(1373-1796) \cdot 0,1 = -42,3 \text{ €/v}$$

6.3.2 Ulkoseinien lämpöhäviö

Ulkoseinien lämmönläpäisevyyttä saadaan parannettua 100 mm ulkopuoleisella mineraalivillaeristyksellä ja uudella tuulensuojauksella arvosta $0,28 \text{ W/m}^2\text{K}$ arvoon $0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$. Ulkoseinärakenteiden U-arvot on laskettu tarkemmin liitteissä 4,5 ja 6..

Vanhoilla rakenteilla ulkoseinien lämpöhäviöksi muodostui 3007 kWh vuodessa.

Lisälämmöneristetyllä rakenteella lämpöhäviöksi muodostuu 1546 kWh vuodessa.

Ulkoseinärakenteiden lämpöhäviöiden laskenta on esitetty tarkemmin liitteissä 15 ja

16. Lisälämmöneristämällä ulkoseinärakenne saatiin energiankulutusta pudotettua 61 prosenttiin alkuperäisestä. Lisälämmöneristyksestä saatava vuotuinen säästö on

$$(3007\text{kWh}-1546\text{kWh})\cdot 0,1= 146,1\text{€/v}$$

6.3.3 Yläpohjan lämpöhäviö

Yläpohjan lämmöneristävyttä parannetaan sisäpuoleisella 50mm mineraalivillaeristyksellä. Lisälämmöneristys ei vaikuta rakenteen pyöristettyyn U-arvoon. Tarkemmilla arvoilla ilmoitettuna vanhan yläpohjan U-arvo on 0,093 W/m²K ja lisäeristetyn yläpohjarakenteen U-arvo on 0,085 W/m²K. Yläpohjan lämmönläpäisykertoimien laskenta on esitetty liitteissä 7 ja 8.

Vanhan yläpohjarakenteen vuotuiseksi lämpöhäviöksi muodostui 2030kWh. Vastaavasti laskettuna lisälämmöneristetyn yläpohjan vuotuiseksi lämpöhäviöksi saatiin 1804 kWh. Yläpohjarakenteen lämpöhäviön määrittäminen on esitetty liitteissä 15 ja 16.

Lisälämmöneristämällä hyvällä tasolla olevaa yläpohjarakennetta ei saada vastaavia säästöjä, kuin lisäeristämällä heikosti eristettyjä rakenteita. Tätä taustaa vasten lisäeristetyn rakenteen lämpöhäviö on 91 prosenttia vanhan rakenteen lämpöhäviöstä. Vuotuisena kustannuksena säästöä saatiin laskennallisesti

$$(2030-1804)\cdot 0,1= 22,6\text{€/v}$$

6.3.4 Ikkunoiden lämpöhäviö

Vanhat ikkunat ovat 3-lasisia MSE ikkunoita, joiden lämmönläpäisykerroin on 1,8 W/m²K (Kytölä 2010). Kaikki rakennuksen ikkunat tullaan korvaamaan Skaala alfa E40 tyyppin ikkunoilla, jotka ovat nelilasisia U-arvolla 0,67 W/m²K. Uusien ikkunoiden U-arvo on valmistajan ilmoittama. Ikkunoiden yhteenlaskettu pinta-ala on 24,76m².

Vanhoilla ikkunoilla rakennukselle aiheutui lämpöhukkaa 6838 kWh vuodessa. Karkaavan energian määrää saadaan ikkunoiden uusimisella pienennettyä arvoon

2835 kWh vuodessa. Ikkunoiden kautta aiheutuva lämpöhäviö lasketaan liitteiden 15 ja 16 mukaisesti. Ikkunoiden vaihdolla saadaan ikkunoiden kautta aiheutuva lämpöhäviö pienennettyä 37 prosenttiin alkuperäisestä. Ikkunoiden vaihdolla ansaittu energiasäästö on vuodessa

$$(6838-2835) \cdot 0,1 = 400,3 \text{ €/v}$$

6.3.5 Ovien lämpöhäviö

Vanhat rakennuksen ovet ovat huonosti eristäviä puuovia, joiden U-arvo on arviolta 2,0 W/m²K. Ovet tullaan korvaamaan nykyaikaisilla ovilla, joiden U-arvo on 0,99 W/m²K.

Ovien kautta aiheutuva lämpöhäviö pieneni arvosta 580kWh arvoon 287 kWh vuodessa. Ovien vaihdolla saatiin pienennettyä lämpöhäviötä 51 prosenttia alkuperäisestä. Tarkemmat laskelmat ovat esitettynä liitteissä 15 ja 16. Vuotuisena kustannussäästönä ovien vaihdolla saatiin aikaan

$$(580-287) \cdot 0,1 = 29,3 \text{ €/v}$$

6.4 Rakennusosien muutostöiden kannattavuuden arviointi

Muutostöillä saatiin aikaan 556€ vuotuinen säästö suhteessa vanhoilla rakenteilla toteutettuun vastaavaan rakennukseen. Vastaava tulos on kilowattitunteina 5559 kWh vuodessa. Kyseinen säästö saatiin muuttamalla rakennuksen vaipparakenteita.

Todellisuudessa säästö on vielä laskettua suurempi, koska yläpohjarakenteisiin uudistettavan höyrynsulkukerroksen ilmanpitävyys tulee olemaan aikaisempaa rakennetta huomattavasti parempi. Ilmanpitävyyden todellista kustannussäästöä ei tässä työssä määritetty, koska se vaatisi vanhan ja uudistetun rakennuksen painekokeen. Tätä koetta ei pystytty teknisistä ja aikataulullisista syistä järjestämään.

Rakennuksen muutostöiden säästöjä pienentää rinnalle rakennettava laajennusosa. Laajennusosa poistaa energiatarkastelusta 10 metriä ulkoseinää, joka on rakennuksen piiriin nähden 25 prosenttia. Tämä 10 metrin alue rajautuu uuden puolen lämpimiin sisätiloihin, joten seinän läpi ei tapahdu merkittävää lämpövirtausta.

6.5 Rakennuksen kokonaisenergiankulutus

Ilmanvaihdon määräksi vanhoilla järjestelmillä oletetaan $0,048\text{m}^3/\text{s}$ (RakMk D2 1987, 16). Rakennukseen asennetaan tulo- ja poistoilmanvaihto, jonka vuosihyötysuhteeksi arvioidaan 45%. Arvo on Asetuksen 4/13 mukainen minimivaatimus. Ilmanvaihtomääräksi nostetaan arvoon $0,075\text{m}^3/\text{s}$.

Poistoilmanvaihdolla toteutettu rakennus aiheutti ilmanvaihdon kautta energiahäviön 8837kWh vuodessa. Tulo- ja poistoilmavaihdolla toteutettuna rakennuksen energiahäviö oli vastaavasti 4145kWh vuodessa. Ilmanvaihdon lämpöhäviöiden tarkemmat laskutoimitukset on esitetty liitteissä 17 ja 18.

Ilmanvaihtojärjestelmän muutoksella saatiin säästöä:

$$(8837\text{kWh}-4145\text{kWh})\cdot 0,1\text{€/kWh} = 470\text{€/v}$$

Tuloksessa tulee ottaa huomioon, että poistoilmanvaihdolla toteutetussa rakennuksessa ei puhallinta käytetä jatkuvasti ja valittu ilmamäärät eivät vastaa todellisia ilmanvaihtotasoja. Tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä kuluttaa enemmän sähköä, kuin vanha järjestelmä, joten säästöä ei voida lukea täysimääräiseksi säästökseksi kokonaissäästöjä ajatellen.

Rakennuksen kokonaisenergiankulutuksesta muodostuva E-luku oli vanhoilla rakenteilla toteutetussa rakennuksessa $628\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})$. Uudistetuilla rakenteilla toteutettu rakennuksen E-luku vastaavasti laskettuna $410\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})$. Rakennuksen E-luku läpäisi korjattuna asetuksen 4/13 mukaista 3 menetelmän vaatimusta $410\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a}) \leq 502\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})$.

Rakennuksen lämmitysmuotona tullaan todennäköisesti käyttämään uusiutuvia polttoaineita, joten E-luku laskee vielä huomattavasti arvosta $410\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})$. E-luvun laskennan yhteenveto on esitetty liitteissä 19 ja 20.

Opinnäytetyössä käytetty laskentataulukko on prototyyppi ja sen tuloksien oikeellisuudesta vastaa sen käyttäjä. Kokonaisenergiankulutuksen painottamattomaksi arvoksi kyseisellä laskentataulukolla saadaan:

$$34338,2 \text{ kWh/a} - 22426,9 \text{ kWh/a} = 11911 \text{ kWh/a}$$

Laskentataulukolla lasketun kokonaisenergiankulutukseen vuotuinen sähkön energiamuodon kertoimilla painotettu energian kulutus pieneni uudistettujen energiasaneerauksen ansiosta $218 \text{ kWh/(m}^2\text{a)}$, mikä tarkoittaa laskennallisena säästöä:

$$218 \text{ kWh/(m}^2\text{a)} \times 96 \text{ m}^2 = 20928 \text{ kWh/a}$$

6.6 Energiasaneerauksen kannattavuus

Tässä opinnäytetyössä ei ollut tarkoituksenmukaista lähteä selvittämään muutostöistä aiheutuvia kustannuksia ja sitä kautta laskettavaa takaisinmaksuaikaa korjaustyölle. Kohteen korjaustyön kannattavuutta lisää pakotetut ulkoverhouksen ja alapohjan korjaustyöt sekä uuden laajennusosan rakentaminen.

Edellä laskettu kustannussäästö on käytönaikaista säästöä, joka maksaa korjaustyön kustannuksia takaisin. Tuloksista voidaan todeta, että ikkunarakenteiden muuttaminen on rakenneosin muutoksista tehokkainta energiasäästöjen kannalta. Huomioon otettavaa on että ikkunat ovat myös rakennuksen kalleimpia yksittäisiä rakenneosia, joten muutostyön kustannukset ovat verrattain korkeat. Ikkunat ovat arkkitehtonisista syistä muutostöille pakotettuina, joten niiden vaihtaminen on luonnollinen ratkaisu runkopaksuuden kasvaessa yli 100mm.

Rakennusosien muutoksilla saatiin kokonaisuudesta 556€ vuodessa.

Ilmanvaihtojärjestelmiin kohdistuvilla muutoksilla saatiin aikaan 470€ vuotuinen säästö. Painottamaton vuotuinen kokonaissäästö on $11911 \text{ kWh} \times 0,1 \text{ €/kWh} = 1191 \text{ €}$ vuodessa, joka on ilmanvaihdon ja rakenneosien säästöjen summaa suurempi.

Poikkeama johtuu ikkuna ja seinä määrien muutoksilla, joista aiheutuu laskelmaan

kylmäsiltojen ja ilmavuotojen muodossa häviötä ja ikkunapinta-alojen muutoksista sisätiloihin säteilevän energian kasvua.

Laskennassa vakioitujen muuttujien parantamisella ja uusiutuvaa energiaa käyttävän energiamuodon valinnalla saataisiin hankkeen teoreettista kannattavuutta kasvatettua. Kustannuksien kasvamisen ja säästöjen tasapainon löytäminen on yksi oleellisimmista asioista vastaavia hankkeita suunniteltaessa. Kaikkien osa-alueiden parantaminen on kallista ja voi muodostua kannattamattomaksi toteuttaa.

7 Pohdinta

7.1 Tuotannon laadun merkitys

Työn tuloksena saatiin kohteeseen kosteusteknisesti toimivat ja energiatehokkaammat rakenneratkaisut alkuperäisiin verrattuna. Korjattujen rakenteiden toimivuus nykyilmastossa vastaa frameprojektissa saatuja tietoja matalaenergiarakenteiden toimivuudesta. Työn tulokset vahvistivat näkemystä, jonka mukaan nykyrakenteiden alttius pienillekin rakennusvirheille voi aiheuttaa sisäilmaongelmia.

Rakenteiden tulee olla ilmanpitäviä, jotta rakenteiden läpi ei synny konvektiovirtauksia. Kosteuspitoisuudet kriittisissä rajapinnoissa on nykyrakenteilla lähellä kriittisiä kosteuspitoisuuksia, kun rakennus oletetaan ilmanpitäväksi. Jos rakenteen ilmanpitävyys ei ole aukoton, konvektiovirtausten rakenteisiin tuoma lisäkosteus aiheuttaa mikrobikasvutoriskiä ja sisäilmaongelmia pitkällä aikavälillä.

Rakenteiden ilmanpitävyyden tärkeyden tulisi olla selvillä kaikille rakennuksen tuotannonparissa työskenteleville henkilöille. LVIS-puolella on havaittavissa välinpitämättömyyttä asiaa kohtaan. Kaikki rakennusvaippaan tehtävät läpiviennit ovat kyseisen portaalan järjestelmistä johtuvia, joten niiden toteutuksen tulisi olla järjestelmällistä ja tarkkaa.

Tutkimusmenetelmiin olisi hyvä lisätä konvektiovirtausten tutkiminen, jotta saataisiin realistisempi kuva rakenteiden todellisesta kosteustilasta. Pelkkä diffuusiotarkastelu osoittaa rakennuksen toimivuuden kun rakennus on teoreettisesti aukoton ilmavuodoille. Todellisuudessa rakenteisiin jää aina jonkin verran konvektiovirtauksen mahdollistavia aukkoja.

7.2 Energiatehokkuuden parantaminen

Energiatehokkuuden parantaminen ilman sen yhdistämistä homeongelmien tai muiden korjaustöitä pakottavien haittojen poistamiseen ei ole taloudellisesti järkevää tutkitun kohteen tasoilla rakenteilla toteutetussa rakennuksissa. Rakennuskustannukset ovat nousseet niin suuriksi, että takaisinmaksuajat karkaavat rakennuksen elinkaaren pituisiksi. Korjausrakentamisen energiatehokkuutta koskevaan asetukseen 4/13 on myös kirjattu rajausta, jolloin rakennushanke ei kuulu asetuksen vaatimusten piiriin, kun takaisinmaksuaika ylittää järkevyyden rajan.

Työtä aloittaessa oli olettamuksena, että rakenneosamuutoksilla saataisiin huomattavia säästöjä energiankulutukseen. Teoreettisesti todettuna säästöt jäivät suhteellisen pieniksi, mutta todellisuudessa tiiveyden parantuminen voi tuoda tuntuviakin kustannussäästöjä rakennuksen käytön aikana. Asian tarkempi tutkiminen osoitti rakenteiden parantamisen hyvistä erinomaisiksi olevan työläämpää kuin huonoista hyväksi.

7.3 Korjaustavan valinta ja laajuus

Tutkittua kohdetta ei kannata käyttää esimerkkikohteena pienimuotoisille korjaushankkeille. Kohteessa käydään läpi rakennusrunkoa lukuun ottamatta kaikki materiaalit ja uusitaan rungon ulko- ja sisäpuoleiset rakenteet lähes täydellisesti. Vastaavanlaista korjauslaajuutta ei voi suositella yleispäteväksi toteutusmalliksi. Kaikki korjauskohteet ovat yksilöllisiä. Haluttu lopputulos saadaan aikaiseksi sitomalla hanke budjettiin ja tilaajan toivomuksiin.

Rakenneosien korjausehdotuksia voi hyödyntää tapauskohtaisesti suunta antavina vaihtoehtoina korjaustavan valinnassa. Lisäksi voidaan hyödyntää työnsisältämiä laskentamalleja puurunkoisten vaipparakenteiden ja maanvaraisten alapohjarakenteiden kosteusteknisissä tarkasteluissa. Laskentamallien ja rakenneratkaisujen käyttö on rakennushankkeen rakennesuunnittelijan vastuulla. Työssä laaditut mallit eivät ole sertifioituja ratkaisuja rakenteiden toteuttamiselle.

Työn tuloksista voidaan todeta, että rakennuksen energiasaneeraus on monien asioiden summa ja huolellinen suunnittelu voi parhaassa tapauksessa tuottaa todellisia käytön aikaisia säästöjä tilaajalle. Suunnittelussa tulisi ottaa huomioon, millä toimenpiteillä aikaan saadaan tehokkaita parannuksia rakennuksen energiatehokkuuden parantamiseksi, säilyttämällä rakennuksen terveellisyys.

7.4 Yhteistyö suunnittelussa ja tuotannossa

Opinnäytetyöprosessi vahvisti koulutuksessa saatuja tietoja rakentamisen yksikohtaisten asioiden tärkeydestä ja rakennesuunnittelijan vastuusta rakennuksen terveellisyyden aikaansaamiseksi. Lisäksi vahvistui käsitys vastaavan työnjohtajan tärkeydestä rakennushankkeen onnistumiselle. Pientalotyömaatasolla on ammattitaitoa laidasta laitaan ja paljon vanhentuneita käsityksiä rakenteiden toteuttamisesta ja asioiden tärkeydestä rakennuksen terveellisyyden varmistamiseksi.

Työnjohdon tulee puuttua havaittuihin virheisiin, sekä kouluttaa ja ohjeistaa työn toteutuksessa havaituissa puutteissa. Välinpitämättömästä vastaavasta työnjohtajasta on vähiten hyötyä rakennuksen toteutusportaalle ja pahimmassa tapauksessa rakennuksesta tehdään ongelmarakennus jo syntyessään.

Lähteet

A4/13. 2013. Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä. Helsinki. Viitattu 23.4.2013.

www.ymparisto.fi, Maankaytto_ja_rakentaminen, Suomen rakentamismaarayskokoelma.

Kytölä, A. 2010. Ikkunaremontti: Näin paljon säästyy energiaa. Suomela. Viitattu 21.4.2013. www.suomela.fi, rakentaminen, Ikkunat-ovet, Ikkunaremontti-Näin paljon säästyy energiaa.

Laurinen, M. 2011. 1980-luvun pientalojen rakenneratkaisut. Itä-Suomen yliopisto. Koulutus- ja kehittämisspalvelu. Viitattu 28.2.2013. <http://www.sisailmakeskus.fi>,

Leivo, V. 2011a. Maanvastaat ja Ryömintätilalliset rakenteet. Frame seminaarimoniste. Tampereen teknillinen yliopisto.

www.rakennusteollisuus.fi/frame.

Leivo, V. 2011b. Maanvastaat rakenteet ja ryömintätilalliset rakenteet. Tampere, Tampereen teknillinen yliopisto, Talonrakennustekniikka. Viitattu 28.3.2013.

www.tut.fi, kirjaston palvelut, TTY julkaisut, TUT Dpub, Research publications.

Leivo, V. & Rantala, J. 2000. Maanvaraisten alapohjarakenteiden kosteuskäyttäytyminen. Julkaisu 106. Tampere, Tampereen teknillinen korkeakoulu, Talonrakennustekniikka. Viitattu 13.3.2013. www.tut.fi, kirjaston palvelut, TTY julkaisut, TUT Dpub, Research publications.

Leivo, V. & Rantala, J. 2002. Maanvastaat alapohjarakenteet – kosteustekninen mitoittaminen ja korjaaminen. Julkaisu 121. Tampere, Tampereen teknillinen korkeakoulu, Talonrakennustekniikka. Viitattu 13.3.2013. www.tut.fi, kirjaston palvelut, TTY julkaisut, TUT Dpub, Research publications.

Rakentajan kalenteri. 2008. Rakennusmestarit ja -insinöörit AMK RKL ry ja Rakennustietosäätiö RTS.

RakMk C2. 1975. Veden- ja kosteudenerisitys määräykset. Suomen rakentamismääräyskokoelma, Sisäasiainministeriö. Viitattu 24.4.2013.

RakMK C2. 1998. Kosteusmääräykset ja ohjeet. Suomen rakentamismääräyskokoelma, Ympäristöministeriö, Asunto- ja rakennusosasto. Viitattu 10.3.2013. www.ymparisto.fi, Maankaytto_ja_rakentaminen, Suomen rakentamismaarayskokoelma.

RakMk C4. 1978. Lämmöneristysohjeet. Suomen rakentamismääräyskokoelma, Sisäasiainministeriö, Asuntoja rakentamisosasto. Viitattu 24.4.2013. www.edilex.fi, virallistieto, rakentamismääräykset.

RakMK C4 luonnos. 2012. Lämmöneristysohjeet. Suomen rakentamismääräyskokoelma, Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto. Viitattu 1.2.2013. www.ymparisto.fi, Maankaytto_ja_rakentaminen, Suomen rakentamismaarayskokoelma, valmisteilla olevat rakentamismääräyskokoelman osat.

RakMk D2. 2012. Rakennuksen sisäilmasto ja ilmanvaihto. Suomen rakentamismääräyskokoelma, Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto. Viitattu 20.4.2013. www.ymparisto.fi, Maankaytto_ja_rakentaminen, Suomen rakentamismaarayskokoelma.

RakMk D3. 2012. Rakennusten energiatehokkuus. Suomen rakentamismääräyskokoelma, Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto. Viitattu 1.2.2013. www.ymparisto.fi, Maankaytto_ja_rakentaminen, Suomen rakentamismaarayskokoelma.

RakMk D5 luonnos. 2012. Rakennuksen energiankulutuksen ja tehontarpeen laskenta, luonnos. Helsinki, Ympäristöministeriö, rakennetun ympäristön osasto. Viitattu 1.2.2013. www.ymparisto.fi, Maankaytto_ja_rakentaminen, Suomen rakentamismaarayskokoelma, valmisteilla olevat rakentamismääräyskokoelman osat.

RIL 107. 2012. Rakennusten kosteus- ja vedeneristysohjeet. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL.

RIL 255. 2013. Rakennusfysiikan käsikirja, lausuntoversiot 2013. Viitattu 25.3.2013. www.ril.fi, julkaisut.

Vinha, J., Käkelä, P. & Kalamees, T. 2003. Puurunkoisten seinärakenteiden kosteusteknisen toiminnan vertailu omakotitalossa. Julkaisu 116. Tampere, Tampereen teknillinen yliopisto, Talonrakennustekniikka. Viitattu 28.3.2013. www.tut.fi, kirjaston palvelut, TTY julkaisut, TUT Dpub, Research publications.

Vinha, J., Korpi, M., Kalamees, T., Eskola, L., Palonen, J., Kurnitski, J., Valovirta, I., Mikkilä, A. & Jokisalo, J. 2005. Puurunkoisten pientalojen kosteus- ja lämpötilaolosuhteet, ilmanvaihto ja ilmatiiviys. Tutkimusraportti 131. Tampere, Tampereen teknillinen yliopisto, Talonrakennustekniikan laboratorio. Viitattu 28.3.2013. www.tut.fi, kirjaston palvelut, TTY julkaisut, TUT Dpub, Research publications.

Liitteet

Liite 1. Vanhan alapohjarakenteen U-arvon laskenta

U-ARVO MAANVARAINEN ALAPOHJA AP1v

Maanvaraisen alapohjan ekvivalentti paksuus

$$dt = w + \lambda s * (R_{si} + R_f + R_{se}) \quad [5.32 (20)]$$

w	0,2 m	Seinän paksuus lattiarakenteen kohdalla
λs	2 W/(mK)	Maamateriaalin lämmönjohtavuus katso C4
R_{si}	0,17 m ² K/W	Sisäpuolen pintavastus
R_f	6,51 m ² K/W	Lattiarakenteen lämmönvastus
R_{se}	0,04 m ² K/W	Maan pinnan pintavastus ulkona

dt 13,64 m Maanvastaisen alapohjan ekvivalentti paksuus

$$U_f = \frac{\lambda s}{0,475 * B' + dt}, \text{ kun } dt > B'$$

Uf: maavastaisen alapohjan lämmönläpäisykerroin

λs 2 W/(mK)

$$B' = \frac{A}{0,5 * P}$$

B': Suhteellinen lattiamitta (kaava 19 C4 2012)

A	94,5 m ²	Lattiarakenteen pinta-ala
P	39,9 m	Lattiarakenteen piiri

B' 4,736842 m

Uf 0,13 W/m²k OK

Liite 2. Korjatun alapohjarakenteen U-arvon laskenta

U-ARVO MAANVARAINEN ALAPOHJA AP1u

Maanvaraisen alapohjan ekvivalentti paksuus

$$dt = w + \lambda s * (R_{si} + R_f + R_{se}) \quad [5.32 (20)]$$

w	0,2 m	Seinän paksuus lattiarakenteen kohdalla
λs	2 W/(mK)	Maamateriaalin lämmönjohtavuus katso C4
R_{si}	0,17 m ² K/W	Sisäpuolen pintavastus
R_f	2,99 m ² K/W	Lattiarakenteen lämmönvastus
R_{se}	0,04 m ² K/W	Maan pinnan pintavastus ulkona

dt 6,6 m Maanvastaisen alapohjan ekvivalentti paksuus

$$U_f = \frac{\lambda s}{0,475 * B' + dt}, \text{ kun } dt > B'$$

Uf: maavastaisen alapohjan lämmönläpäisykerroin

λs 2 W/(mK)

$$B' = \frac{A}{0,5 * P}$$

B': Suhteellinen lattiamitta (kaava 19 C4 2012)

A	94,5 m ²	Lattiarakenteen pinta-ala
P	39,9 m	Lattiarakenteen piiri

B' 4,736842 m

Uf 0,23 W/m²k OK

Liite 3. Vertailualapohjarakenteen U-arvon laskenta

U-ARVO MAANVARAINEN ALAPOHJA AP2

Maanvaraisen alapohjan ekvivalentti paksuus

$$dt = w + \lambda_s * (R_{si} + R_f + R_{se}) \quad [5.32 (20)]$$

w	0,25 m	Seinän paksuus lattiarakenteen kohdalla
λ_s	2 W/(mK)	Maamateriaalin lämmönjohtavuus katso C4
R_{si}	0,17 m2K/W	Sisäpuolen pintavastus
R_f	4,35 m2K/W	Lattiarakenteen lämmönvastus
R_{se}	0,04 m2K/W	Maan pinnan pintavastus ulkona

dt 9,37 m Maanvastaisen alapohjan ekvivalentti paksuus

$$U_f = \frac{\lambda_s}{0,475 * B' + dt}, \text{ kun } dt > B'$$

Uf: maavastaisen alapohjan lämmönläpäisykerroin

λ_s 2 W/(mK)

$$B' = \frac{A}{0,5 * P}$$

B': Suhteellinen lattiamitta (kaava 19 C4 2012)

A	80 m2	Lattiarakenteen pinta-ala
P	36 m	Lattiarakenteen piiri

B' 4,444444 m

Uf 0,17 W/m2k OK

Liite 4. Vanhan ulkoseinärakenteen U-arvon laskenta

Ulkoseinän U-arvo, kun rakenne sisältä rinnakkaisia materiaaleja US1v

$U = 1/R_t$

$$R_t = \frac{R_{t'} + R_{t''}}{2}$$

$$\frac{1}{R_{t'}} = \frac{f_a}{R_{ta}} + \frac{f_b}{R_{tb}} + \dots$$

Rakenneosia	paksuus	λ_d	jako	leveys	f_n	R_{tn}	$1/R_{tn}''$	R_{tn}''	R_{ta}	R_{tb}
	mm	W/mK	mm	mm		m2W/K	m2W/K	m2W/K	m2W/K	m2W/K
Sisäilma								0,13	Rtn	4,01
Paneeli	28	0,12			1	0,23		0,23	fn	0,92
Hsmuovi	0,2	0,33			1	0,00		0,00	1/Rt'	0,277
Runko (b)	125	0,12	600	48	0,08	1,04	0,0768	0,34912		
Eriste (a)	125	0,037	600	48	0,92	3,38	0,27232			
Bituliitti	12	0,052			1	0,23				
Ulkoilma										0,04
								3,499053		

$$\frac{1}{R_{t''}} = \frac{f_a}{R_{ja}} + \frac{f_b}{R_{jb}} + \dots$$

$$R_{t''} = (R_{si} + R_{1''} + R_{2''} + \dots + R_{j''} + R_{se})$$

$R_{t'}$ 3,61 m2K/W

$R_{t''}$ 3,50 m2K/W

R_t 3,554651024 m2K/W

U 0,281321568 W/m2K korjaamaton

KORJATTU U-ARVO

Uc	U+ΔU	0,28 W/m2K	ΔUf	Mekaaniset kiinnikkeet
			ΔUg	Ilmaraot
			ΔU _r	Käännetty katto
ΔU	ΔUf+ΔUg+ΔU _r +ΔU _ψ	0	ΔU _ψ	Viivamaiset kylmäsilat

Liite 5. Korjatun ulkoseinärakenteen U-arvon laskenta

Ulkoseinän U-arvo, kun rakenne sisältää rinnakkaisia materiaaleja

US1u

$$U=1/Rt$$

$$Rt = \frac{Rt' + Rt''}{2}$$

$$\frac{1}{R't} = \frac{fa}{Rta} + \frac{fb}{Rtb} + \dots$$

Rakenneos	paksuus	λd	jako	leveys	fn	Rtn	1/Rtn''	Rtn''
	mm	W/mK	mm	mm		m2W/K	m2W/K	m2W/K
Sisäilma								0,13
Kipsi	13	0,23			1	0,06		0,06
Hs-muovi	0,2	0,33			1	0,00		0,00
Runko	125	0,12	600	48	0,08	1,04	0,0768	0,34912
Eriste	125	0,037	600	48	0,92	3,38	0,27232	2,86
Koolaus	50	0,12	600	48	0,08	0,42	0,192	0,8728
Eriste	50	0,037	600	48	0,92	1,35	0,6808	1,15
Koolaus	50	0,12	600	48	0,08	0,42	0,192	0,8728
Eriste	50	0,037	600	48	0,92	1,35	0,6808	1,15
Tuulensuoja	25	0,056			1	0,45		0,45
Ulkoilma								0,04
R''t=(Rsi+R1''+R2''...+Rj''+Rse)							Rt''	5,829377

	Rta	Rtb
	m2W/K	m2W/K
Rtn	2,55	6,75
fn	0,08	0,92
1/Rt'	0,168	

$$\frac{1}{R_j''} = \frac{fa}{Rja} + \frac{fb}{Rjb} + \dots$$

Rt' 5,966834866
Rt'' 5,829376719

Rt 5,898105793 m2K/W

U 0,169545959 W/m2K korjaamaton

KORJATTU U-ARVO

Uc	U+ΔU	0,17	W/m2K	ΔUf	Mekaaniset kiinnikkeet
				ΔUg	Ilmaroot
				ΔUr	Käännetty katto
ΔU	ΔUf+ΔUg+ΔUr+ΔUψ		0	ΔUψ	Viivamaiset kylmäsiilat

Liite 6. Vertailu-ulkoseinärakenteen U-arvon laskenta

Ulkoseinän U-arvo, kun rakenne sisältää rinnakkaisia materiaaleja

US2

$$U=1/Rt$$

$$Rt = \frac{Rt' + Rt''}{2}$$

$$\frac{1}{R't} = \frac{fa}{Rta} + \frac{fb}{Rtb} + \dots$$

Rakenneos	paksuus	λd	jako	leveys	fn	Rtn	1/Rtn'	Rtn''
	mm	W/mK	mm	mm		m2W/K	m2W/K	m2W/K
Sisäilma								0,13
Kipsi	13	0,23				0,06		0,06
Koolaus V (a)	50	0,12	600	48	0,08	0,42	0,192	0,8728
Eriste (b)	50	0,037	600	48	0,92	1,35	0,6808	1,15
Hs-muovi	0,2	0,33				0,00		0,00
Runko (a)	175	0,12	600	48	0,08	1,46	0,054857	0,249371
Eriste (b)	175	0,037	600	48	0,92	4,73	0,194514	4,01
Tuulensuoja	25	0,056				0,45		0,45
Ulkoilma								0,04
R''t=(Rsi+R1''+R2''...+Rj''+Rse)							Rt''	5,829377

	Rta	Rtb
	m2W/K	m2W/K
Rtn	2,55	6,75
fn	0,08	0,92
1/Rt'	0,168	

$$\frac{1}{R_j''} = \frac{fa}{Rja} + \frac{fb}{Rjb} + \dots$$

Rt' 5,966569045 m2W/K
Rt'' 5,83 m2W/K

Rt 5,897972882 m2K/W

U 0,169549779 W/m2K korjaamaton

KORJATTU U-ARVO

Uc	U+ΔU	0,17	W/m2K	ΔUf	Mekaaniset kiinnikkeet
				ΔUg	Ilmaroot
				ΔUr	Käännetty katto
ΔU	ΔUf+ΔUg+ΔUr+ΔUψ		0	ΔUψ	Viivamaiset kylmäsiilat

Liite 7. Vanhan yläpohjarakenteen U-arvon laskenta

Yläpohjan U-arvo, kun rakenne sisältää rinnakkaisia materiaaleja

YP1

$$U=1/Rt$$

$$Rt = \frac{Rt' + Rt''}{2}$$

$$\frac{1}{R't} = \frac{fa}{Rta} + \frac{fb}{Rtb} + \dots$$

Rakenneos	paksuus	λd	jako	leveys	fn	Rtn	1/Rtn'	Rtn''
	mm	W/mK	mm	mm		m2K/W	m2K/W	m2K/W
Sisäilma								0,1
Paneeli	28	0,12				0,23		0,23
Hs-muovi	0,2	0,33				0,00		0,00
Runko	150	0,12	600	48	0,08	1,25	0,064	0,290933
Eriste	150	0,037	600	48	0,92	4,05	0,226933	
Eriste	250	0,037				6,76		6,76
Ulkoilma								0,04
$R''t=(Rsi+R1''+R2''\dots+Rj''+Rse)$							Rt''	10,56791

	Rta	Rtb
	m2W/K	m2W/K
Rtn	8,38	11,18
fn	0,08	0,92
1/Rt'	0,092	

$$\frac{1}{Rj''} = \frac{fa}{Rja} + \frac{fb}{Rjb} + \dots$$

Rt'	10,89
Rt''	10,57

Rt	10,7305423 m2K/W
U	0,093191935 W/m2K korjaamaton

KORJATTU U-ARVO

Uc	U+ΔU	0,09 W/m2K	ΔUf	Mekaaniset kiinnikkeet
			ΔUg	Ilmaraot
			ΔU _r	Käännetty katto
ΔU	ΔUf+ΔUg+ΔU _r +ΔU _ψ		ΔU _ψ	Viivamaiset kylmäsilat
			0	

Liite 8. Korjatun ja vertailu-yläpohjarakenteen U-arvon laskenta

Yläpohjan U-arvo, kun rakenne sisältää rinnakkaisia materiaaleja

YP1u/YP2

$$U=1/Rt$$

$$Rt = \frac{Rt' + Rt''}{2}$$

$$\frac{1}{R't} = \frac{fa}{Rta} + \frac{fb}{Rtb} + \dots$$

Rakenneos	paksuus	λd	jako	leveys	fn	Rtn	1/Rtn'	Rtn''
	mm	W/mK	mm	mm		m2K/W	m2K/W	m2K/W
Sisäilma								0,1
Kipsi	13	0,23				0,06		0,06
Koolaus V	50	0,12	600	48	0,08	0,42	0,192	1,15
Eriste	50	0,037	600	48	0,92	1,35	0,6808	
Hs-muovi	0,2	0,33				0,00		0,00
Runko	150	0,12	600	48	0,08	1,25	0,064	0,290933
Eriste	150	0,037	600	48	0,92	4,05	0,226933	
Eriste	250	0,037				6,76		6,76
Ulkoilma								0,04
$R''t=(Rsi+R1''+R2''\dots+Rj''+Rse)$							Rt''	11,53684

	Rta	Rtb
	m2W/K	m2W/K
Rtn	8,62	12,36
fn	0,08	0,92
1/Rt'	0,084	

$$\frac{1}{Rj''} = \frac{fa}{Rja} + \frac{fb}{Rjb} + \dots$$

Rt'	11,94
Rt''	11,54

Rt	11,74084338 m2K/W
U	0,085172757 W/m2K korjaamaton

KORJATTU U-ARVO

Uc	U+ΔU	0,09 W/m2K	ΔUf	Mekaaniset kiinnikkeet
			ΔUg	Ilmaraot
			ΔU _r	Käännetty katto
ΔU	ΔUf+ΔUg+ΔU _r +ΔU _ψ		ΔU _ψ	Viivamaiset kylmäsilat
			0	

Liite 10. Alapohjarakenteiden kosteustasapainon laskenta kesäolosuhteessa

[illegible]

	d	Md	Rl	qp/min	Zmax	Δx	t	v _k	p _k	D _P	p _x	RH	wk	w80	v _k	RH
Säallina	28 mm	0.12 W/mK	0.13 m²K/W				21	0.018314	1043.953				7.7	14.7	18.3	%
Pireneeli	28 mm	0.12 W/mK	0.23 m²K/W	1.00E-12 kg/(m³Pa)	2.80E+05 t	2.806651 °C	18.19335 °C	0.01555	2088.293 pa	46.38303	998.4656 pa	47.78988 Eltimäärä	7.4	12.4	15.6	48 Pireneeli
Helsinki	0.2 mm	0.33 W/mK	0.00 m²K/W			2.811392 °C	18.18867 °C	0.015546	2088.684 pa	799.254	244.5986 pa	11.71066 Eltimäärä	1.8	12.4	15.5	12 Helsinki
Runko	125 mm	0.12 W/mK														Runko
Villa	KU37	0.037 W/mK	3.38 m²K/W	1.11E-10 kg/(m³Pa)	1.13E+09 kg/r2400	28.90838 °C	-7.90838 °C	0.00263	3216.415 pa	801.0793	242.773 pa	75.47925 Eltimäärä	2.0	2.1	2.6	75 Villa
Touliers.	Bihult	0.052 W/mK	0.23 m²K/W	6.40E-12 kg/(m³Pa)	1.88E+09 kg/r2400	31 °C	-10 °C	0.002195	266.774 pa	804.1183	239.734 pa	90 Eltimäärä	2.0	1.8	2.2	90 Touliers.
Unikolma			0.04 m²K/W													
			Runko	4.01 m²K/W						4.96E+11						

TILIOKSET PALAPINNOISSA												
	vk	v80	vk	RH								
Säälina	42	7,2	14,7	18,3	%							
Kopilevy	44	7,6	13,8	17,2	%							
SFS-muovi	11	1,8	13,8	17,2	%							
Runko	28	5,5	6,9	28	%							
Kuusi	30	5,1	6,4	30	%							
Tuulties	46	1,9	3,4	4,2	%							
Kooulus P	46	1,9	3,4	4,2	%							
Villa	75	2,0	2,1	2,6	%							
Tuulties	90	2,0	1,8	2,2	%							

[illegible]

[illegible]

Liite 13. Yläpohjarakenteiden kosteustasapainon laskenta
talviolosuhteissa

MITTILUSOLUSUHDUE		Ts	21	Ulkolämpötila	RH	90	0,9	Stalilämpötila	RH	32,62822	0,36282
		Tu	-10		Pu	239,73429			Ps	810,5983	0,005976
					vu	0,0019756			vs		0,018314
							4 g/m3		vk,s		0,018314
KAIVOJEN SEUTUYKSET											
pk	$vk=461,4^{*}(2/3+1) \quad (RH100)$										
vk	$10^{-3} \cdot (4,85+3,47^{*}(1/10)+0,945^{*}(1/10)^{0,5}+2+0,158^{*}(1/10)^{3}+0,0281^{*}(1/10)^4$										
t	lämpötilassa x										
Δux	$\frac{R1+(t2-t1)}{R}$										
Δp	$\frac{Zp}{Z}+(ps-pu)$										

Yläpohja Vp1, V											
TULOJEN RAAPINNOS											
Stalilämpötila	d	13	R1	0,13 m2/V	op,min	Zp,max	bu	t	21	vk	pk
Paneli	kuusi	28 mm	0,12 W/mK	0,13 m2/V	1,00E-12 kg/(m2s)	2,80E+10 kg/m25pa	1,004332 °C	19,99567 °C	0,017278	2335,591 pa	32,17949
HS-muovi	SFS4225	0,2 mm	0,33 W/mK	0,00 m2/V	4,30E-16 kg/(m2s)	4,65E+11 kg/m25pa	1,006007 °C	19,99399 °C	0,017278	2335,71 pa	566,7225
Runko	kuusi	125 mm	0,12 W/mK	0,12 m2/V	1,11E-10 kg/(m2s)	3,60E+09 kg/m25pa	30,88943 °C	9,88943 °C	0,002217	269,0991 pa	570,8641
Villa	K137	400 mm	0,037 W/mK	10,81 m2/V							239,7343
Ulkolämpötila				0,04 m2/V							
Riok				11,21 m2/V							4,97E+11
TULOJEN RAAPINNOS											
vk	6,0	14,7	18,3								
vk	5,8	13,8	17,3								
vk	1,8	13,8	17,3								
vk	2,0	1,8	2,2								

Yläpohja Vp1, U/Vp2											
TULOJEN RAAPINNOS											
Stalilämpötila	d	13	R1	0,13 m2/V	op,min	Zp,max	bu	t	21	vk	pk
Kipsilevy	kuusi	13 mm	0,12 W/mK	0,11 m2/V	1,00E-12 kg/(m2s)	1,30E+10 kg/m25pa	0,993865 °C	20,40614 °C	0,016986	2395,619 pa	15,39131
Koodaus V	kuusi	50 mm									795,207
Villa	K137	50 mm	0,037 W/mK	1,35 m2/V	1,11E-10 kg/(m2s)	4,50E+08 kg/m25pa	3,961082 °C	17,03892 °C	0,014525	1943,729 pa	1,59E+01
HS-muovi	SFS4225	0,2 mm	0,33 W/mK	0,00 m2/V	4,30E-16 kg/(m2s)	4,65E+11 kg/m25pa	3,962592 °C	17,03741 °C	0,014523	1943,545 pa	566,5976
Runko	kuusi	175 mm									244,0008
Villa	K137	400 mm	0,037 W/mK	10,81 m2/V	1,11E-10 kg/(m2s)	3,60E+09 kg/m25pa	30,90033 °C	9,90033 °C	0,002215	268,8293 pa	570,8641
Ulkolämpötila				0,04 m2/V							239,7343
Riok				12,4 m2/V							89,17714
TULOJEN RAAPINNOS											
vk	6,0	14,7	18,3								
vk	5,9	14,2	17,7								
vk	5,9	11,6	14,5								
vk	1,8	11,6	14,5								
vk	2,0	1,8	2,2								

Liite 14. Yläpohjarakenteiden kosteustasapainon laskenta
kesäolosuhteessa

MITOITUSOLosuht	T _s	25	Ulkolma	RH	90	0,3 Ssallma	RH	77,55927	0,77593
	T _u	18		P _u	1857,8331		P _s	2452,512	
			vu		0,0138358		vk	0,017837	
			kosteudis		4 g/m3		vk,s	0,022998	

KAJOEN SELITYKSET

pk	$\frac{v_k \cdot (46,47224)}{(RH_{10})}$
t	$10 \cdot 3^{(16,85-3,47) \cdot (10) + 0,945 \cdot (10) + 2 \cdot 0,158 \cdot (10) + 3 \cdot 0,0281 \cdot (10) + 4}$
t	$\ln(p_{olissa}) \cdot x$
dx	$\frac{R_i \cdot (T_s - T_u)}{R}$
dp	$\frac{Z_p}{Z} \cdot (p_s - p_u)$

Yläpohja VP1, V												
Ssallma	d	kd	RI	op,min	Zp,max	dx	t	vk	pk	dp	pv	RH
Paneeli	28 mm	0,12 W/mK	0,13 m2K/W	1,00E-12 kg/(m2s)	2,80E+10 kg/m2s	0,236785 °C	24,7732 °C	0,022998	3182,113		2452,512	
HE-muovi	0,2 mm	0,13 W/mK	0,00 m2K/W	4,30E-16 kg/(m2s)	4,65E+11 kg/m2s	0,227163 °C	24,7734 °C	0,022706	3119,623	313,2103	2416,39	77,55934 E1065y
Runko	125 mm	0,12 W/mK								590,3647	1862,147	59,69142 E1065y
Villa	400 mm	0,037 W/mK	10,81 m2K/W	1,11E-10 kg/(m2s)	3,60E+09 kg/m2s	6,975033 °C	18,02497 °C	0,015397	2067,477	594,6789	1857,833	89,85993 E1065y
Ulkolma			0,04 m2K/W									
Rokk						4,97E+11						
TULOKSET RAAPINNOSSA												
vk	v80	vk	RH									
17,8	18,4	23,0	78	Ssallma								
17,6	18,2	22,7	78	Paneeli								
13,6	18,2	22,7	60	HE-muovi								
13,8	12,3	15,4	90	Runko								
				Villa								

Yläpohja VP1, U/VP2												
Ssallma	d	kd	RI	op,min	Zp,max	dx	t	vk	pk	dp	pv	RH
Kgallav	13 mm	0,12 W/mK	0,11 m2K/W	1,00E-12 kg/(m2s)	1,30E+10 kg/m2s	0,134099 °C	24,8659 °C	0,022998	3182,113		2452,512	
Koodaus v	50 mm							0,022825	3136,969	16,0339	2436,479	77,66983 E1065y
Villa	KL37	0,037 W/mK	1,35 m2K/W	1,11E-10 kg/(m2s)	4,50E+08 kg/m2s	0,894438 °C	24,10556 °C	0,021868	2997,731	1,66E+01	2435,923	81,25889 E1065y
HE-muovi	0,2 mm	0,13 W/mK	0,00 m2K/W	4,30E-16 kg/(m2s)	4,65E+11 kg/m2s	0,894779 °C	24,10522 °C	0,021867	2997,67	590,2345	1862,278	62,12417 E1065y
Runko	125 mm											
Villa	KL37	0,037 W/mK	10,81 m2K/W	1,11E-10 kg/(m2s)	3,60E+09 kg/m2s	6,977494 °C	18,02251 °C	0,015395	2067,159	594,6789	1857,833	89,87373 E1065y
Ulkolma			0,04 m2K/W									
Rokk						12,44 m2K/W	4,82E+11					
TULOKSET RAAPINNOSSA												
vk	v80	vk	RH									
17,8	18,4	23,0	78	Ssallma								
17,8	18,3	22,8	78	Kgallav								
17,8	17,5	21,9	81	Villa								
13,6	17,5	21,9	62	HE-muovi								
13,8	12,3	15,4	90	Runko								
				Villa								

Liite 15. Vanhojen rakenneosien lämpöhäviön laskenta

RAKENTEET: Vanhojen rakenneosien lämpöhäviöt

	A/(m2)	U/(W/m2K)	H (W/K)
US	70	0,28	19,6 W/K
YP	147	0,09	13,23 W/K
IKK	24,76	1,8	44,568 W/K
OVI	1,89	2	3,78 W/K
AP	96	0,13	12,48 W/K

ULKOSEINISTÄ AIHEUTUVA ENERGIAHÄVIÖ

Qrakosa	Ui*Ai*(Ts-Tu)*Δt/1000									
häviöt/kk	U*A	x	(Ts-	Tu)	ΔT	x	Δt/h	/1000		
Qrak,osa	19,6									
Qrakos1	19,6		21	-8	29		744	422,8896 kWh	tammi	
Qrakos2	19,6		21	-7,1	28,1		672	370,1107 kWh	helmi	
Qrakos3	19,6		21	-3,53	24,53		744	357,7063 kWh	maalis	
Qrakos4	19,6		21	2,42	18,58		720	262,201 kWh	huhti	
Qrakos5	19,6		21	8,84	12,16		744	177,322 kWh	touko	
Qrakos6	19,6		21	13,39	7,61		720	107,3923 kWh	kesä	
Qrakos7	19,6		21	15,76	5,24		744	76,41178 kWh	heinä	
Qrakos8	19,6		21	13,76	7,24		744	105,5766 kWh	elo	
Qrakos9	19,6		21	9,18	11,82		720	166,8038 kWh	syys	
Qrakos10	19,6		21	4,07	16,93		744	246,88 kWh	loka	
Qrakos11	19,6		21	-1,76	22,76		720	321,1891 kWh	marras	
Qrakos12	19,6		21	-5,92	26,92		744	392,5582 kWh	joulu	
							Qus	3007,041 kWh		

YLÄPOHJASTA AIHEUTUVA ENERGIAHÄVIÖ

Qrakosa	Ui*Ai*(Ts-Tu)*Δt/1000									
häviöt/kk	U*A	x	(Ts-	Tu)	ΔT	x	Δt/h	/1000		
Qrak,osa	13,23									
Qrakos1	13,23		21	-8	29		744	285,4505 kWh	tammi	
Qrakos2	13,23		21	-7,1	28,1		672	249,8247 kWh	helmi	
Qrakos3	13,23		21	-3,53	24,53		744	241,4517 kWh	maalis	
Qrakos4	13,23		21	2,42	18,58		720	176,9856 kWh	huhti	
Qrakos5	13,23		21	8,84	12,16		744	119,6923 kWh	touko	
Qrakos6	13,23		21	13,39	7,61		720	72,48982 kWh	kesä	
Qrakos7	13,23		21	15,76	5,24		744	51,57795 kWh	heinä	
Qrakos8	13,23		21	13,76	7,24		744	71,26419 kWh	elo	
Qrakos9	13,23		21	9,18	11,82		720	112,5926 kWh	syys	
Qrakos10	13,23		21	4,07	16,93		744	166,644 kWh	loka	
Qrakos11	13,23		21	-1,76	22,76		720	216,8027 kWh	marras	
Qrakos12	13,23		21	-5,92	26,92		744	264,9768 kWh	joulu	
							Qyp	2029,753 kWh		

IKKUNOISTA AIHEUTUVA ENERGIAHÄVIÖ

Qrakosa	Ui*Ai*(Ts-Tu)*Δt/1000									
häviöt/kk	U*A	x	(Ts-	Tu)	ΔT	x	Δt/h	/1000		
Qrak,osa	44,568									
Qrakos1	44,568		21	-8	29		744	961,5992 kWh	tammi	
Qrakos2	44,568		21	-7,1	28,1		672	841,5865 kWh	helmi	
Qrakos3	44,568		21	-3,53	24,53		744	813,3803 kWh	maalis	
Qrakos4	44,568		21	2,42	18,58		720	596,2129 kWh	huhti	
Qrakos5	44,568		21	8,84	12,16		744	403,2085 kWh	touko	
Qrakos6	44,568		21	13,39	7,61		720	244,197 kWh	kesä	
Qrakos7	44,568		21	15,76	5,24		744	173,751 kWh	heinä	
Qrakos8	44,568		21	13,76	7,24		744	240,0682 kWh	elo	
Qrakos9	44,568		21	9,18	11,82		720	379,2915 kWh	syys	
Qrakos10	44,568		21	4,07	16,93		744	561,375 kWh	loka	
Qrakos11	44,568		21	-1,76	22,76		720	730,3447 kWh	marras	
Qrakos12	44,568		21	-5,92	26,92		744	892,6293 kWh	joulu	
							Qikkunat	6837,644 kWh		

OVISTA AIHEUTUVA ENERGIAHÄVIÖ

Qrakosa	Ui*Ai*(Ts-Tu)*Δt/1000									
häviöt/kk	U*A	x	(Ts-	Tu)	ΔT	x	Δt/h	/1000		
Qrak,osa	3,78									
Qrakos1	3,78		21	-8	29		744	81,55728 kWh	tammi	
Qrakos2	3,78		21	-7,1	28,1		672	71,3785 kWh	helmi	
Qrakos3	3,78		21	-3,53	24,53		744	68,98621 kWh	maalis	
Qrakos4	3,78		21	2,42	18,58		720	50,56733 kWh	huhti	
Qrakos5	3,78		21	8,84	12,16		744	34,19781 kWh	touko	
Qrakos6	3,78		21	13,39	7,61		720	20,71138 kWh	kesä	
Qrakos7	3,78		21	15,76	5,24		744	14,73656 kWh	heinä	
Qrakos8	3,78		21	13,76	7,24		744	20,3612 kWh	elo	
Qrakos9	3,78		21	9,18	11,82		720	32,16931 kWh	syys	
Qrakos10	3,78		21	4,07	16,93		744	47,61258 kWh	loka	

Qrakos11	3,78	21	-1,76	22,76	720	61,94362 kWh	marras
Qrakos12	3,78	21	-5,92	26,92	744	75,70765 kWh	joulu
					Qovi	579,9294 kWh	

ALAPOHJASTA AIHEUTUVA ENERGIAHÄVIÖ

Qap	H		H*ΔT*Δt/1000	Ts	Tmaa,v	ΔTmaa,kk	Tmaa,kk	ΔT	Δt/(h)	/1000		
Qap1	12,48		*		21	8,43	0	8,43	12,57	744	116,714 kWh	tammi
Qap2	12,48				21	8,43	-1	7,43	13,57	672	113,8056 kWh	helmi
Qap3	12,48				21	8,43	-2	6,43	14,57	744	135,2842 kWh	maalis
Qap4	12,48				21	8,43	-3	5,43	15,57	720	139,9058 kWh	huhti
Qap5	12,48				21	8,43	-3	5,43	15,57	744	144,5693 kWh	touko
Qap6	12,48				21	8,43	-2	6,43	14,57	720	130,9202 kWh	kesä
Qap7	12,48				21	8,43	0	8,43	12,57	744	116,714 kWh	heinä
Qap8	12,48				21	8,43	1	9,43	11,57	744	107,4288 kWh	elo
Qap9	12,48				21	8,43	2	10,43	10,57	720	94,97779 kWh	syys
Qap10	12,48				21	8,43	3	11,43	9,57	744	88,8586 kWh	loka
Qap11	12,48				21	8,43	3	11,43	9,57	720	85,99219 kWh	marras
Qap12	12,48				21	8,43	2	10,43	10,57	744	98,14372 kWh	joulu
										Qap	1373,314 kWh	

Qsumma	13827,68 kWh
--------	--------------

Liite 16. Korjattujen rakenneosien lämpöhäviöiden laskenta

Korjattujen rakenneosien lämpöhäviöt

	A/(m2)	U/(W/m2K)	H (W/K)
US	63	0,16	10,08 W/K
YP	147	0,08	11,76 W/K
IKK	27,58	0,67	18,4786 W/K
OVI	1,89	0,99	1,8711 W/K
AP	96	0,17	16,32 W/K

ULKOSEINISTÄ AIHEUTUVA ENERGIAHÄVIÖ

Qrakosa	U [*] Ai [*] (Ts-Tu)*Δt/1000							
häviöt/kk	U [*] A	x	(Ts-	Tu)	ΔT	x	Δt/h	∫/1000
Qrakos1	10,08		21	-8	29		744	217,4861 kWh tammi
Qrakos2	10,08		21	-7,1	28,1		672	190,3427 kWh helmi
Qrakos3	10,08		21	-3,53	24,53		744	183,9632 kWh maaliskuu
Qrakos4	10,08		21	2,42	18,58		720	134,8462 kWh huhti
Qrakos5	10,08		21	8,84	12,16		744	91,19416 kWh touko
Qrakos6	10,08		21	13,39	7,61		720	55,23034 kWh kesä
Qrakos7	10,08		21	15,76	5,24		744	39,29748 kWh heinä
Qrakos8	10,08		21	13,76	7,24		744	54,29652 kWh elo
Qrakos9	10,08		21	9,18	11,82		720	85,78483 kWh syys
Qrakos10	10,08		21	4,07	16,93		744	126,9669 kWh loka
Qrakos11	10,08		21	-1,76	22,76		720	165,183 kWh marras
Qrakos12	10,08		21	-5,92	26,92		744	201,8871 kWh joulukuu
							Qus	1546,478 kWh

YLÄPOHJASTA AIHEUTUVA ENERGIAHÄVIÖ

Qrakosa	U [*] Ai [*] (Ts-Tu)*Δt/1000							
häviöt/kk	U [*] A	x	(Ts-	Tu)	ΔT	x	Δt/h	∫/1000
Qrakos1	11,76		21	-8	29		744	253,7338 kWh tammi
Qrakos2	11,76		21	-7,1	28,1		672	222,0664 kWh helmi
Qrakos3	11,76		21	-3,53	24,53		744	214,6238 kWh maaliskuu
Qrakos4	11,76		21	2,42	18,58		720	157,3206 kWh huhti
Qrakos5	11,76		21	8,84	12,16		744	106,3932 kWh touko
Qrakos6	11,76		21	13,39	7,61		720	64,43539 kWh kesä
Qrakos7	11,76		21	15,76	5,24		744	45,84707 kWh heinä
Qrakos8	11,76		21	13,76	7,24		744	63,34595 kWh elo
Qrakos9	11,76		21	9,18	11,82		720	100,0823 kWh syys
Qrakos10	11,76		21	4,07	16,93		744	148,128 kWh loka
Qrakos11	11,76		21	-1,76	22,76		720	192,7135 kWh marras
Qrakos12	11,76		21	-5,92	26,92		744	235,5349 kWh joulukuu
							Qyp	1804,225 kWh

IKKUNOISTA AIHEUTUVA ENERGIAHÄVIÖ

Qrakosa	U [*] Ai [*] (Ts-Tu)*Δt/1000							
häviöt/kk	U [*] A	x	(Ts-	Tu)	ΔT	x	Δt/h	∫/1000
Qrakos1	18,4786		21	-8	29		744	398,6943 kWh tammi
Qrakos2	18,4786		21	-7,1	28,1		672	348,9351 kWh helmi
Qrakos3	18,4786		21	-3,53	24,53		744	337,2404 kWh maaliskuu
Qrakos4	18,4786		21	2,42	18,58		720	247,1993 kWh huhti
Qrakos5	18,4786		21	8,84	12,16		744	167,1766 kWh touko
Qrakos6	18,4786		21	13,39	7,61		720	101,2479 kWh kesä
Qrakos7	18,4786		21	15,76	5,24		744	72,03993 kWh heinä
Qrakos8	18,4786		21	13,76	7,24		744	99,53609 kWh elo
Qrakos9	18,4786		21	9,18	11,82		720	157,2603 kWh syys
Qrakos10	18,4786		21	4,07	16,93		744	232,755 kWh loka
Qrakos11	18,4786		21	-1,76	22,76		720	302,8125 kWh marras
Qrakos12	18,4786		21	-5,92	26,92		744	370,0983 kWh joulukuu
							Qikkunat	2834,996 kWh

OVISTA AIHEUTUVA ENERGIAHÄVIÖ

Qrakosa	U [*] Ai [*] (Ts-Tu)*Δt/1000							
häviöt/kk	U [*] A	x	(Ts-	Tu)	ΔT	x	Δt/h	∫/1000
Qrakos1	1,8711		21	-8	29		744	40,37085 kWh tammi
Qrakos2	1,8711		21	-7,1	28,1		672	35,33236 kWh helmi
Qrakos3	1,8711		21	-3,53	24,53		744	34,14817 kWh maaliskuu
Qrakos4	1,8711		21	2,42	18,58		720	25,03083 kWh huhti
Qrakos5	1,8711		21	8,84	12,16		744	16,92792 kWh touko
Qrakos6	1,8711		21	13,39	7,61		720	10,25213 kWh kesä
Qrakos7	1,8711		21	15,76	5,24		744	7,294596 kWh heinä
Qrakos8	1,8711		21	13,76	7,24		744	10,07879 kWh elo
Qrakos9	1,8711		21	9,18	11,82		720	15,92381 kWh syys
Qrakos10	1,8711		21	4,07	16,93		744	23,56823 kWh loka
Qrakos11	1,8711		21	-1,76	22,76		720	30,66209 kWh marras
Qrakos12	1,8711		21	-5,92	26,92		744	37,47529 kWh joulukuu
							Qovi	287,0651 kWh

ALAPOHJASTA AIHEUTUVA ENERGIAHÄVIÖ											
Qap	H	H*ΔT*Δt/1000	Ts	Tmaa,v	ΔTmaa,kk	Tmaa,kk	ΔT	Δt/(h)	_/1000		
Qap1		16,32	21	8,43	0	8,43	12,57	744	152,6259	kWh	tammi
Qap2		16,32	21	8,43	-1	7,43	13,57	672	148,8227	kWh	helmi
Qap3		16,32	21	8,43	-2	6,43	14,57	744	176,9101	kWh	maalis
Qap4		16,32	21	8,43	-3	5,43	15,57	720	182,9537	kWh	huhti
Qap5		16,32	21	8,43	-3	5,43	15,57	744	189,0522	kWh	touko
Qap6		16,32	21	8,43	-2	6,43	14,57	720	171,2033	kWh	kesä
Qap7		16,32	21	8,43	0	8,43	12,57	744	152,6259	kWh	heinä
Qap8		16,32	21	8,43	1	9,43	11,57	744	140,4839	kWh	elo
Qap9		16,32	21	8,43	2	10,43	10,57	720	124,2017	kWh	syys
Qap10		16,32	21	8,43	3	11,43	9,57	744	116,1997	kWh	loka
Qap11		16,32	21	8,43	3	11,43	9,57	720	112,4513	kWh	marras
Qap12		16,32	21	8,43	2	10,43	10,57	744	128,3418	kWh	joulu
									Qap	1795,872	kWh
									Qsumma	8268,636	kWh

Liite 17. Vanhan ilmanvaihtojärjestelmän lämpöhäviöiden laskenta

ILMANVAIHDON LÄMPÖHÄVIÖ									
Qiv,korv		pi*cpi*qvkorvaus*(Ts-Tu)*Δt/1000							
	pi*cpi	qvkorv(m3/s)	qvpoisto	Ts	Tu	Δt/(h)	_/1000		
Qiv1	1200	0,048	0,048	21	-8	744	1000	1242,778	kWh
Qiv2	1200	0,048	0,048	21	-7,1	672	1000	1087,672	kWh
Qiv3	1200	0,048	0,048	21	-3,53	744	1000	1051,218	kWh
Qiv4	1200	0,048	0,048	21	2,42	720	1000	770,5498	kWh
Qiv5	1200	0,048	0,048	21	8,84	744	1000	521,1095	kWh
Qiv6	1200	0,048	0,048	21	13,39	720	1000	315,6019	kWh
Qiv7	1200	0,048	0,048	21	15,76	744	1000	224,5571	kWh
Qiv8	1200	0,048	0,048	21	13,76	744	1000	310,2659	kWh
Qiv9	1200	0,048	0,048	21	9,18	720	1000	490,199	kWh
Qiv10	1200	0,048	0,048	21	4,07	744	1000	725,525	kWh
Qiv11	1200	0,048	0,048	21	-1,76	720	1000	943,9027	kWh
Qiv12	1200	0,048	0,048	21	-5,92	744	1000	1153,64	kWh
								Qiv	8837,02 kWh

Liite 18. Uudistetun ilmanvaihtojärjestelmän lämpöhäviöiden laskenta

ILMANVAHDON LÄMPÖHÄVIÖ															
Qiv	$\dot{m}^*tv^*pi^*cpi^*qv_{tulo}*((Tsp-\Delta t_{puhallin})-Tito)^*\Delta t/1000$														
ϕ_{lto}	$\eta_a,i,vk^*\dot{m}^*td^*tv^*pi^*cpi^*q_{vpoisto}*(Ts-Tu)$														
Tlto	$Tu+\phi_{lto}/(\dot{m}^*td^*tv^*pi^*cpi^*q_{v,tulo})$														
	$\dot{m}^*tv^*pi^*cpi$	$qv_{tulo}(m^3/s)$	$q_{vpoisto}$	T_s	Tu	ΔT	T_{sp}	Δt_{puh}	η_a	ϕ_{lto}	Tlto	$\Delta t/(h)$	_/1000		
Qiv1	1200	0,075	0,075	21	-8		29	18	0,5	0,5	1305	6,5	744	1000	736,56 kWh
Qiv2	1200	0,075	0,075	21	-7,1		28,1	18	0,5	0,5	1264,5	6,95	672	1000	638,064 kWh
Qiv3	1200	0,075	0,075	21	-3,53		24,53	18	0,5	0,5	1103,85	8,735	744	1000	586,9044 kWh
Qiv4	1200	0,075	0,075	21	2,42		18,58	18	0,5	0,5	836,1	11,71	720	1000	375,192 kWh
Qiv5	1200	0,075	0,075	21	8,84		12,16	18	0,5	0,5	547,2	14,92	744	1000	172,7568 kWh
Qiv6	1200	0,075	0,075	21	13,39		7,61	18	0,5	0,5	342,45	17,195	720	1000	19,764 kWh
Qiv7	1200	0,075	0,075	21	15,76		5,24	18	0,5	0,5	235,8	18,38	744	1000	-58,9248 kWh
Qiv8	1200	0,075	0,075	21	13,76		7,24	18	0,5	0,5	325,8	17,38	744	1000	8,0352 kWh
Qiv9	1200	0,075	0,075	21	9,18		11,82	18	0,5	0,5	531,9	15,09	720	1000	156,168 kWh
Qiv10	1200	0,075	0,075	21	4,07		16,93	18	0,5	0,5	761,85	12,535	744	1000	332,4564 kWh
Qiv11	1200	0,075	0,075	21	-1,76		22,76	18	0,5	0,5	1024,2	9,62	720	1000	510,624 kWh
Qiv12	1200	0,075	0,075	21	-5,92		26,92	18	0,5	0,5	1211,4	7,54	744	1000	666,9216 kWh
													Qiv		4144,522 kWh

Liite 19. E-Luku vanhoilla rakenteilla

E-LUKU JA ERITTELY				
Rakennuskohde	Päivikkö Sisko ja Pekka			
Osoite	Luotolantie, 41390 ÄIJÄLÄ			
Rakennuksen käyttötarkoitus	Omakotitalo			
Rakennusvuosi	1982_OSA			
Lämmitetty nettoala		93	m ²	
E-luku		628	kWh/(m ² a)	Ei läpäise
	Raja-arvo	204		
E-luvun erittely				
	Ostoenergia	Energiamuodon kerroin	Energiamuodon kertoimella painotettu energian kulutus	
	kWh/a		kWh/a	kWh/(m ² a)
Sähkö	34338,2	1,7	58374,9	627,7
Kaukolämpö		0,7	0,0	0,0
Kaukojäähdytys		0,4	0,0	0,0
Uusiutuva polttoaine		0,5	0,0	0,0
Fossiilinen polttoaine		1	0,0	0,0
Yhteensä	34338,16444		58374,87955	627,7
Uusiutuva omavaraisenergia				
		kWh/a	kWh/(m ² a)	
Aurinkosähkö			0	
Aurinkolämpö			0	
Tuulisähkö			0	
Lämpöpumpun lämmönlähteestä ottama energia			0	
Rakennuksen teknisten järjestelmien energian kulutus				
	kWh/a	Sähkö kWh/(m ² a)	Lämpö kWh/(m ² a)	Kaukojäähdytys kWh/(m ² a)
Lämmitysjärjestelmä				
Tilojen lämmitys	14572,6	156,7	14572,6	156,7
Tuloilman lämmitys	11046,3	118,8	11046,3	118,8
LKV:n valmistus	5129,4	55,2	5129,4	55,2
IV koneen sähköenergia	1471,7	15,8		
Jäähdytysjärjestelmä				
Kuluttajalaitteet ja valaistus	2118,2	22,8	2118,2	22,8
Yhteensä	34338,2	369,2	32866,5	353,4
Energian nettotarve				
		kWh/a	kWh/(m ² a)	
Tilojen lämmitys		11472,1	123,4	
Tuloilman lämmitys		8837,0	95,0	
LKV:n valmistus		3255,0	35,0	
Lämpökuornat				
		kWh/a	kWh/(m ² a)	
Aurinko		5613,9	60,4	
Ihmiset		977,6	10,5	
Kuluttajalaitteet		1466,4	15,8	
Valaistus		651,7	7,0	
Päiväys	Allekirjoitus		Nimenselvennys	
			Hietanen Lasse	

Liite 20. E-Luku uudistetuilla rakenteilla

E-LUKU JA ERITTELY				
Rakennuskohde	Päivikkö Sisko ja Pekka			
Osoite	Luotolantie, 41390 ÄIJÄLÄ			
Rakennuksen käyttötarkoitus	Omakotitalo			
Rakennusvuosi	1982_OSA			
Lämmitetty nettoala		93	m ²	
E-luku		410	kWh/(m ² a)	Ei läpäise
	Raja-arvo	204		
E-luvun erittely				
	Ostoenergia	Energiamuodon kerroin	Energiamuodon kertoimella painotettu energian kulutus	
	kWh/a		kWh/a	kWh/(m ² a)
Sähkö	22426,9	1,7	38125,8	410,0
Kaukolämpö		0,7	0,0	0,0
Kaukojäähdytys		0,4	0,0	0,0
Uusiutuva polttoaine		0,5	0,0	0,0
Fossiilinen polttoaine		1	0,0	0,0
Yhteensä	22426,94279		38125,80274	410,0
Uusiutuva omavaraisenergia				
			kWh/a	kWh/(m ² a)
Aurinkosähkö				0
Aurinkolämpö				0
Tuulisähkö				0
Lämpöpumpun lämmönlähteestä ottama energia				0
Rakennuksen teknisten järjestelmien energian kulutus				
	kWh/a	Sähkö kWh/(m ² a)	Lämpö kWh/(m ² a)	Kaukojäähdytys kWh/(m ² a)
Lämmitysjärjestelmä				
Tilojen lämmitys	8527,0	91,7	8527,0	91,7
Tuloilman lämmitys	5180,7	55,7	5180,7	55,7
LKV:n valmistus	5129,4	55,2	5129,4	55,2
IV koneen sähköenergia	1471,7	15,8		
Jäähdytysjärjestelmä				
Kuluttajalaitteet ja valaistus	2118,2	22,8	2118,2	22,8
Yhteensä	22426,9	241,1	20955,3	225,3
Energian nettotarve				
		kWh/a	kWh/(m ² a)	
Tilojen lämmitys		6635,6	71,4	
Tuloilman lämmitys		4144,5	44,6	
LKV:n valmistus		3255,0	35,0	
Lämpökuornat				
		kWh/a	kWh/(m ² a)	
Aurinko		5393,1	58,0	
Ihmiset		977,6	10,5	
Kuluttajalaitteet		1466,4	15,8	
Valaistus		651,7	7,0	
Päiväys	Allekirjoitus		Nimenselvennys	
			Hietanen Lasse	